TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA

conomia

ecnologia

ociologia

vestigação

edagogia

JANEIRO 1962

318

Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão – Setúbal

Telef. 028824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA —— AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 683649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 – TEL 21277

4 papeis suiços de alta qualidade, para todas as necessidades técnicas

Papel de desenho mate e acetinado granitado para aguarelas.

Papel de desenho acetinado.

ASSISTENT

Papel de desenho mate.

Utoplex

Papel vegetal mate e acetinado.

Exija expressamente Papel Sihl
Papeteries Zuricoises sur Sihl Zurich

Representantes em Portugal:
E. BRUNNER & CA., LDA., Rua de Aviz, 13, Porto
Distribuidores: DETÉCNICA
— Equipamentos Técnicos de Desenho, Ld.ª
Av. de Berna, 46-1.º D Telef. 765321

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXXVII - N.º 318 Janeiro de 1962

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-N. * TELEF. 77 01 44 (Linha 50)

DIRECTOR
MIGUEL FALCÃO

ADMINISTRADOR
RAMIRO CONFRARIA

REDACTORES
JOSÉ FERNANDO PINHARANDA
JOSÉ ALBERTO FERNANDES
ANTÓNIO ALVES MACEDO
MANUEL DIAS FERREIRA

SECRETARIO
JOSÉ MANUEL GONÇALVES

NUMERO AVULSO 15$00

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	37$50	60$00	110$00
Ultramar Português e Espanha	—	65$00	120$00
Estrangeiro	—	70$00	130$00

EDITOR E PROPRIETÁRIO
ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Ponte móvel de Leixões

Caracteristicas:

- **Ponte basculante de sector (Scherzer)**
- **Vão livre 2 × 29,04** 58m,08
- **Largura da faixa de rolagem** 6 m
- **Largura dos passeios 2 × 1** 2 m
- **Largura total** 8,2 m
- **Carga — automóveis ligeiros até 3.000 k**
- **Projecto MAN**
- **Construtores: L. DARGENT, LDA.**

Págs.

Semana de recepção aos novos alunos
Pelo Dr. F. R. Dias Agudo 225

Introdução à estratificação
Por José Quintino Rogado 229

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional** 236

A determinação dos rendimentos nas turbinas hidráulicas com base nos ensaios em modelos reduzidos
Por António Alberto Gonçalves Ferreira 237

Medição de extensões em barragens de betão
Por J. Laginha Serafim 243

Identificação do veículo fixo em tintas e vernizes
Por Maria Fernanda Lopes de Castro 263

Barragens de terra — Controle de colocação de terras
Por Virgílio Penalva Esteves 281

Vida Escolar e Associativa 291

Do Mundo Técnico 295

Biblioteca 297

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

A

Pág.

A. Johnson & Co (Portugal), Ltd. . . XXXV
Alfredo Alves XXXI
Azevedo & Pessi, Ltd. XXX
Asea Eléctrica Ld.ª XXXII

C

Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos . . X
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos XV
Companhia União Fabril . . XVIII e XXI
Construções Técnicas, Ltd.ª XXVII
C. Santos, Ltd.ª . . . . . VI e XIV
Crane XXV

D

Detécnica . . . . . 2.ª da capa

E

Electro-Arco, Ltd.ª . . . . . 2.ª da capa
Empresa de Cimentos de Leiria . . IV
Emílio de Azevedo Campos & C.ª, Ltd.ª XX
Empresa Electro Cerâmica XXXIV
Empresa Nacional de Aparelhagem Eléctrica XXIV
Empresa de Produtos Asfálticos . . . VII
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos XIII
English Electric VIII
Eng.º Augusto Cavaco XX
Estabelecimentos Herold XXXVII

F

Fábrica Portugal II
Fanafel XXII

H

Henriques & Castro, Ltd.ª X
H. Vaultier & C.ª XXX
Hydrel XX

J

Pág.

J. J. Gonçalves, Sucrs. XXXVI

L

L. Dargent, Lda. XXXII

M

Monteiro Gomes, Ltd.ª XII
Metrimpex XXXVIII
Mobil Oil Portuguesa . . . . . 4.ª da capa

O

Orlando Fernandes XXII

P

Papelaria Fernandes XXIII
Pimentel & Casquilho, Ltd.ª III

S

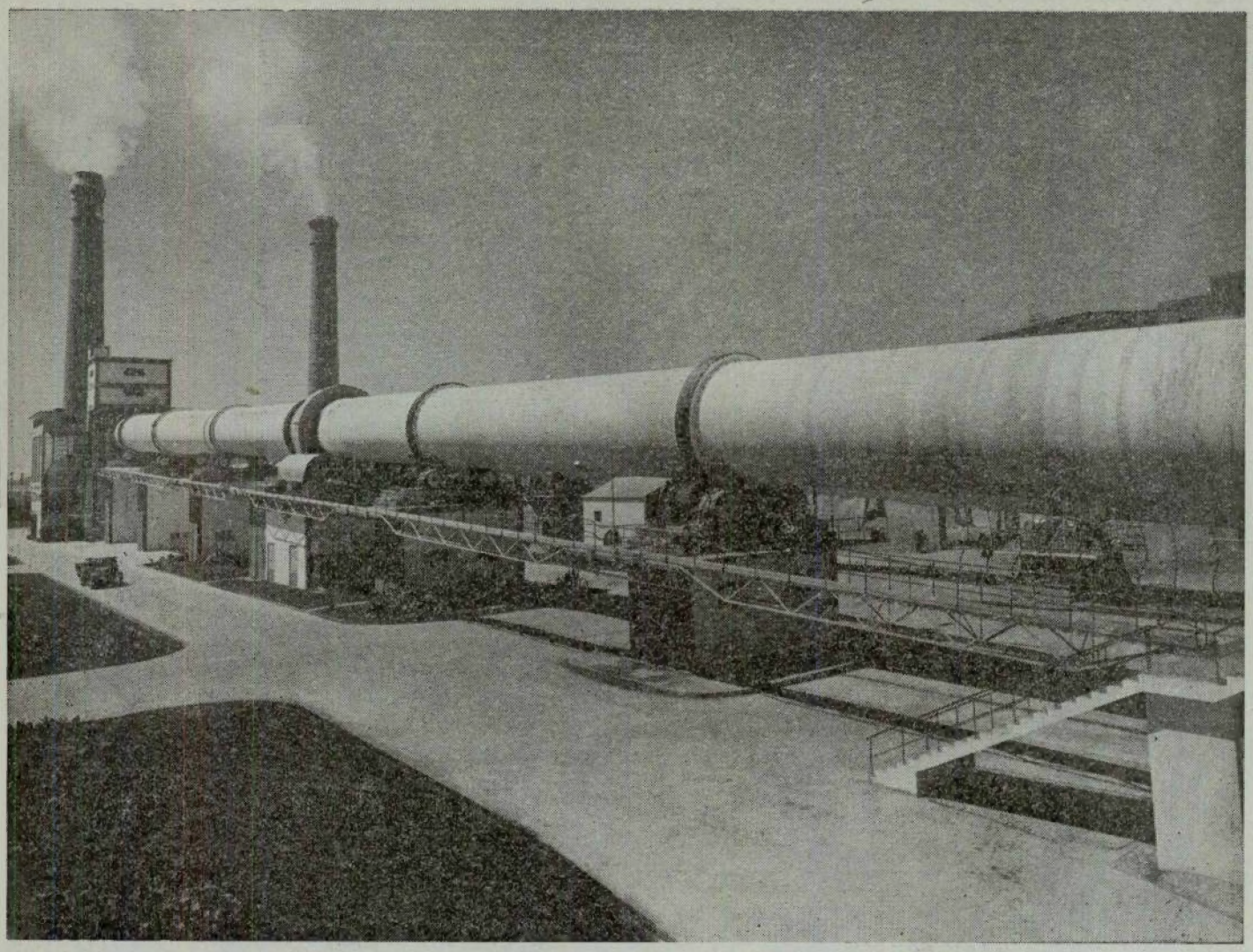
S. E. Moniz da Maia & Vaz Guedes, L.da XVII
SMEIA XI
Soabal, Ltd. XVI
Sociedade de Construções Amadeu Gaudêncio XXXIV
Sociedade S K F XXX
S. Com. de Isolamentos de Cortiça XXXIII
Soc. Comercial Romar, Lda. XXVI
Sociedade Construtora Portuguesa, Ltd.ª I
Sociedade Portuguesa do Ar Líquido XXVIII
Sociedade Portuguesa Cavan IV
Sociedade Técnica de Equipamentos e Tractores, Lda. . . . . . (Intercalado)
Sofomil V
Sondagens Ródio, Ltd.ª XXXII
Standard Eléctrica IX

T

Tudor XIX

W

Wild Portugal, Lda. XXIX



COMPANHIA CIMENTO TEJO
(Alhandra)

5.ª LINHA FABRIL

Assente sobre 407 Estacas Franki

FUNDAÇÕES FRANKI

Sociedade Construtora Portuguesa, Lda.

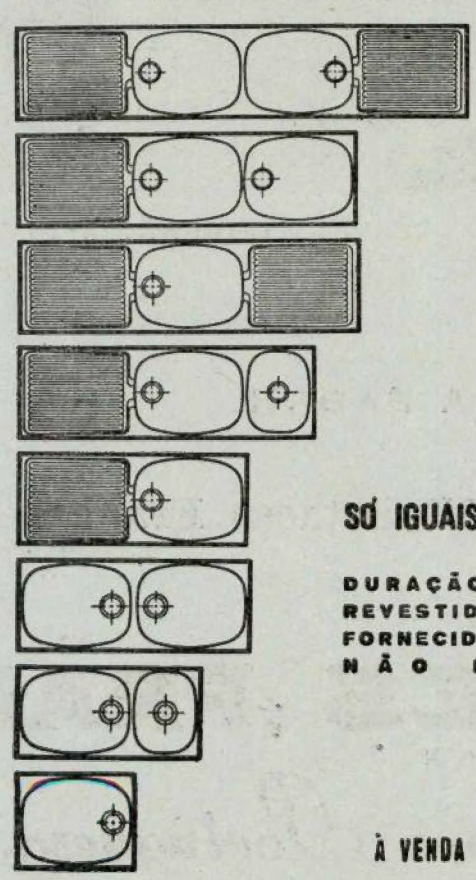
Praça do Areeiro, n.º 9, 4.º Esq. — Lisboa Tel. 72 60 61 e 72 99 11

USE NA SUA COZINHA UM ELEGANTE LAVA-LOUÇAS DE AÇO INOXIDÁVEL

CONCEBIDO PELA

FABRICA PORTUGAL

PARA MODERNIZAR OS LARES DE PORTUGAL



APRESENTADOS EM

8 MODELOS

"STANDARD"

EXECUTAM-SE FORA DE SÉRIE, MODELOS ESPECIAIS PARA GRANDES INSTALAÇÕES

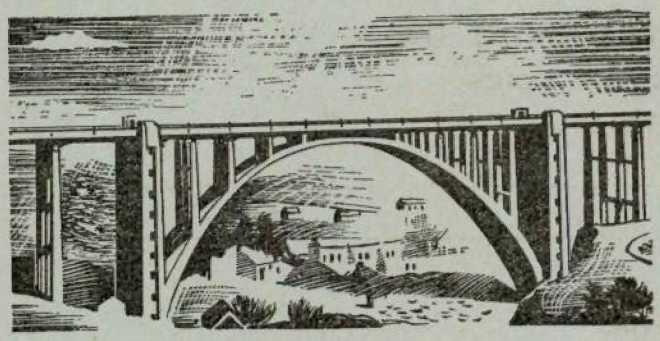
SÓ IGUAIS AOS MELHORES ESTRANGEIROS

DURAÇÃO ILIMITADA • HIGIÉNICOS
REVESTIDOS DE ISOLAMENTO ESPECIAL
FORNECIDOS COM SIFÃO DE SEGURANÇA
NÃO PARTEM A LOUÇA

À VENDA NAS BOAS CASAS DA ESPECIALIDADE

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

QUASE 40 ANOS
AO SERVIÇO DA
ENGENHARIA PORTUGUESA



GRANDE SORTIDO
DE INSTRUMENTOS DE
PRECISÃO, CIENTÍFICOS
E INDUSTRIAIS

RUA DAS PORTAS DE SANTO ANTÃO, 75
LISBOA
TELEF.: 32 43 14 — 32 42 48 ✦ TELEG.: TECNA

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS

MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

MANILHAS PARA ESGOTOS

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A

TELEF. 47812-50129

LISBOA

EMPREZA DE CIMENTOS DE LEIRIA

PORTUGAL

LIZ

CIMENTO PORTLAND NORMAL

CIMENTO HIDROFUGADO

CIMENTOS ESPECIAIS

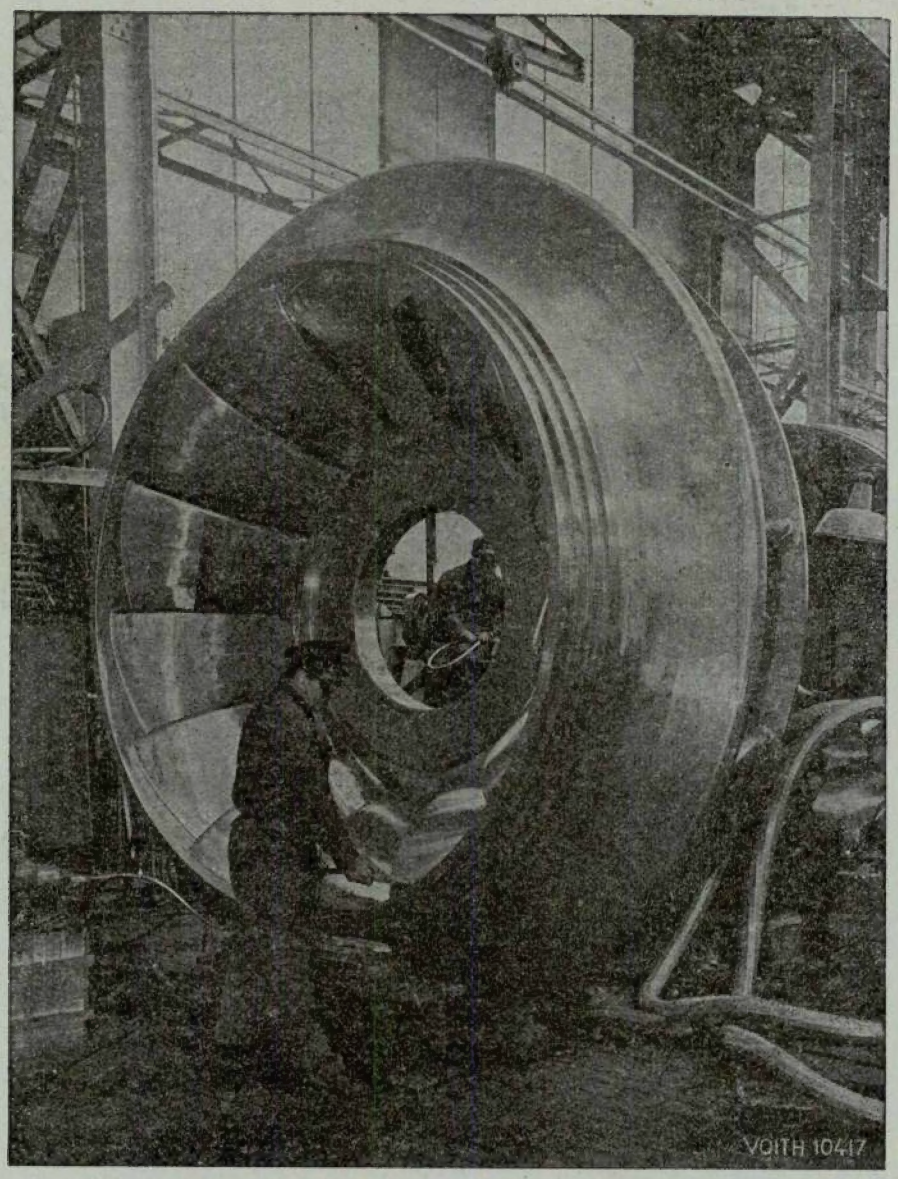
Fábrica de sacos de papel privativa, equipada com os mais modernos mecanismos e uma capacidade de produção anual de 40.000.000 — quarenta milhões — de sacos de papel Kraft, de grande capacidade, cosidos e colados, para consumo próprio e fornecimento à indústria nacional

Agentes em todo o país

Fábrica: MACEIRA
LIZ

R. Braamcamp, 7 — LISBOA
Telef. 5 91 61 / 66

VOITH



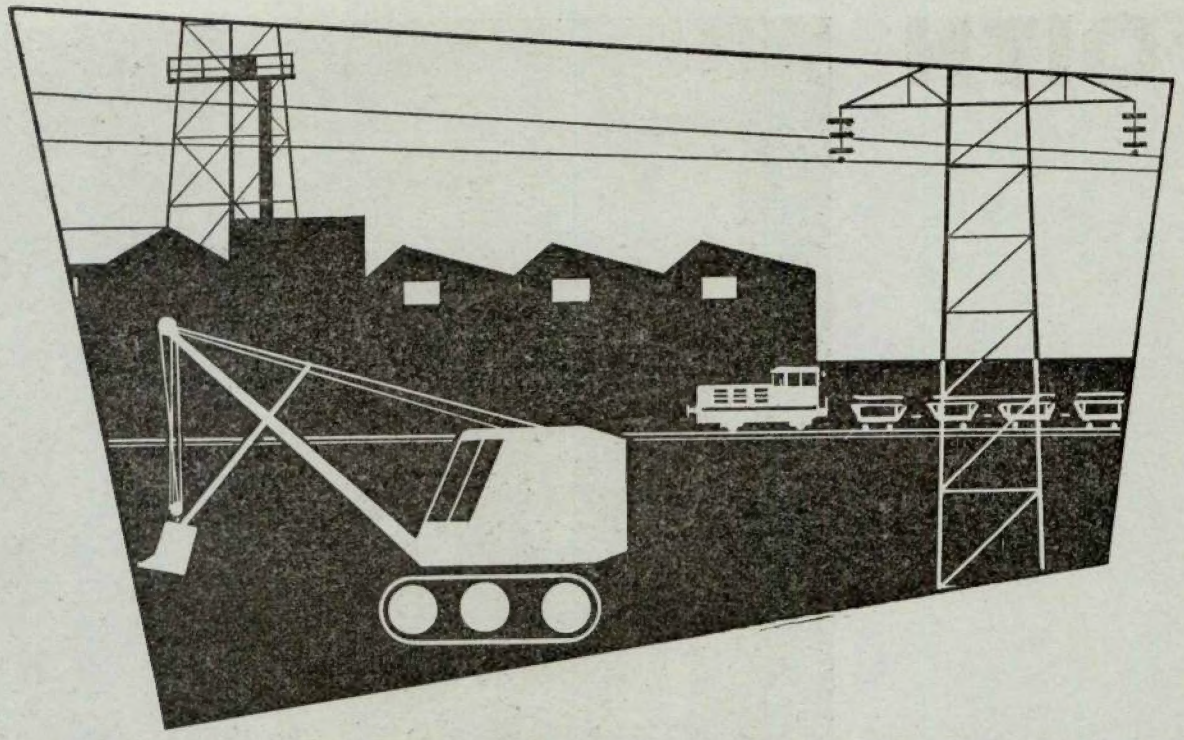
2 Turbinas Francis-espirais

para a central Split

na Jugoslávia, com 170.000 CV de potência unitária, sob 265 m de altura de queda, ambas construidas nas nossas fábricas. Na fotografia, em primeiro plano, um operário procede ao acabamento de uma das rodas-motrizes, na nossa oficina de grandes turbinas; o diâmetro máximo dos rotores é de 3.440 mm. As turbinas são alojadas em evolutas, soldadas, fabricadas de chapa de caldeira, de alta qualidade e resistente ao envelhecimento. O veio vertical de cada grupo é guiado por 3 chumaceiras, sendo a de impulso, montada na estrela-suporte do alternador, combinada com a chumaceira superior de guia. Estas construções da Voith são o fruto de longos anos de experiência e o resultado de estudos intensos realizados nos nossos laboratórios de ensaios hidráulicos.

J. M. VOITH GMBH · HEIDENHEIM (BRENZ) · ALEMANHA

SOFOMIL · Lisboa · Rua Joaquim Bonifácio, 2–1º · Apartado 1340 · Telefones 40566, 48980, 733639



MERCEDES-BENZ

MOTORES INDUSTRIAIS DIESEL

MOTORES PARA TODAS AS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS
FAMOSOS EM TODO O MUNDO PELA SUA GRANDE ROBUSTÊS, ECONOMIA
DE CONSUMO E FACILIDADE DE MANUTENÇÃO
MODELOS DESDE 15 A 2.500 H. P.

EM ARMAZÉM:

MODELO M B 841 B	25 H. P. — 1.000 R. P. M.
MODELO M 202 B	55 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 203 B	90 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 204 B	120 H. P. — 1.200 R. P. M.

OUTROS MODELOS PARA ENTREGA MUITO RÁPIDA

MOTORES A 4 TEMPOS · ARREFECIMENTO POR ÁGUA
ARRANQUE A AR COMPRIMIDO OU ELÉCTRICO

REPRESENTANTES **C. SANTOS LDA.** — DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA

29, AV. DA LIBERDADE, 41 — LISBOA
160, R. DE S.TA CATARINA, 168 — PORTO

Celulite

ISOLAMENTO
TÉRMICO DAS
CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS
*
TECTOS
*
PAREDES
*
CÂMARAS
FRIGORÍFICAS
*
ISOLAMENTOS
INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. • RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º • TEL. 73 01 56 — LISBOA

Para impermeabilizar terraços,
paredes, fundações, etc.

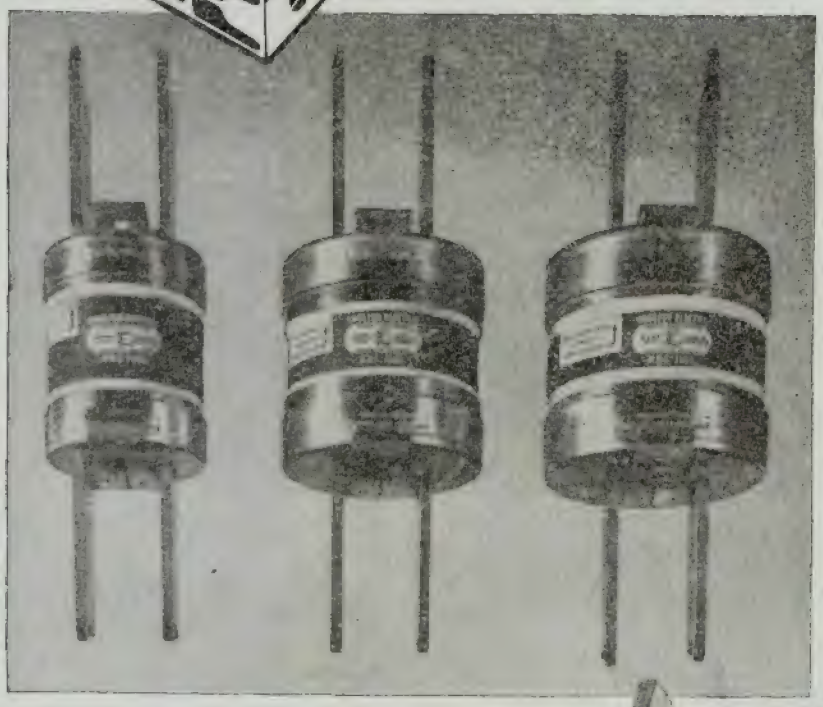
COLAGEM DE
TACOS DE MADEIRA

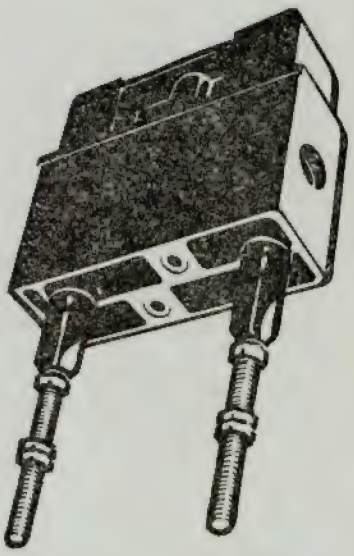
TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

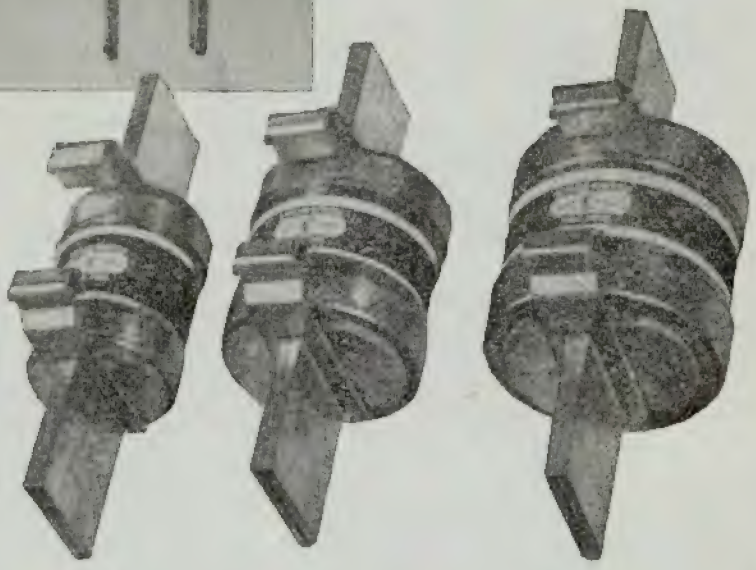
EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS
IMPERMEABILISADOR
IMEPA
RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º - LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM

Fusíveis de alto poder de corte e corta-circuitos



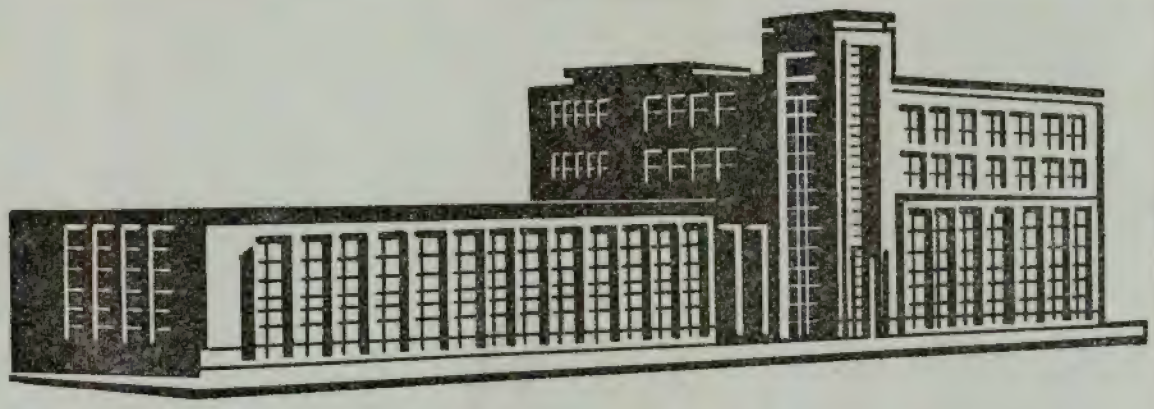




A gama com maior variedade de tipos, símbolo de qualidade e garantia de protecção.

'ENGLISH ELECTRIC'

ENGLISH ELÉCTRICA DE PORTUGAL, LIMITADA
Rua Cascais, 47 (Alcântara) — LISBOA 3



Standard Electrica S.A.R.L.

Associada da

INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORPORATION

DE NOVA YORK

TELECOMUNICAÇÕES

ELECTRÓNICA

AV. DA INDIA — LISBOA

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

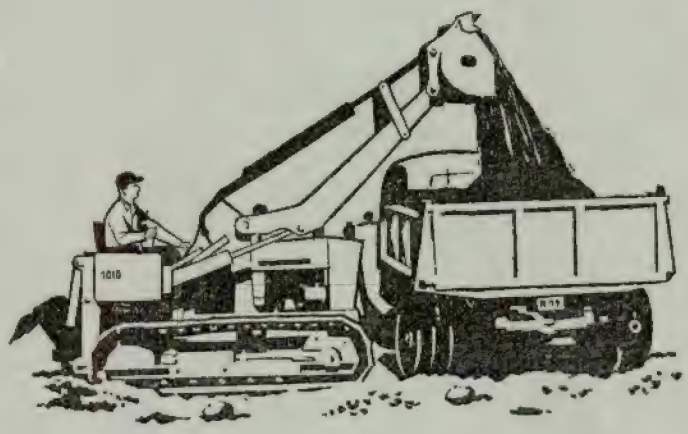
CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 32 0464 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

JONH DEERE-LANZ

1010



Pá escavadora
carregadora 1010

Pá escavadora
carregadora 1010
com rectroescavadora

REDUZIDO PREÇO

RENDIMENTO **ELEVADO**

BAIXO CUSTO DE MANUTENÇÃO

ASSISTÊNCIA GARANTIDA

Distribuidores exclusivos

Sociedade de Mecanização Industrial e Agrícola

S. A. R. L.

Avenida Padre Manuel da Nóbrega, 8-B **Tel. 72 40 53** **LISBOA**

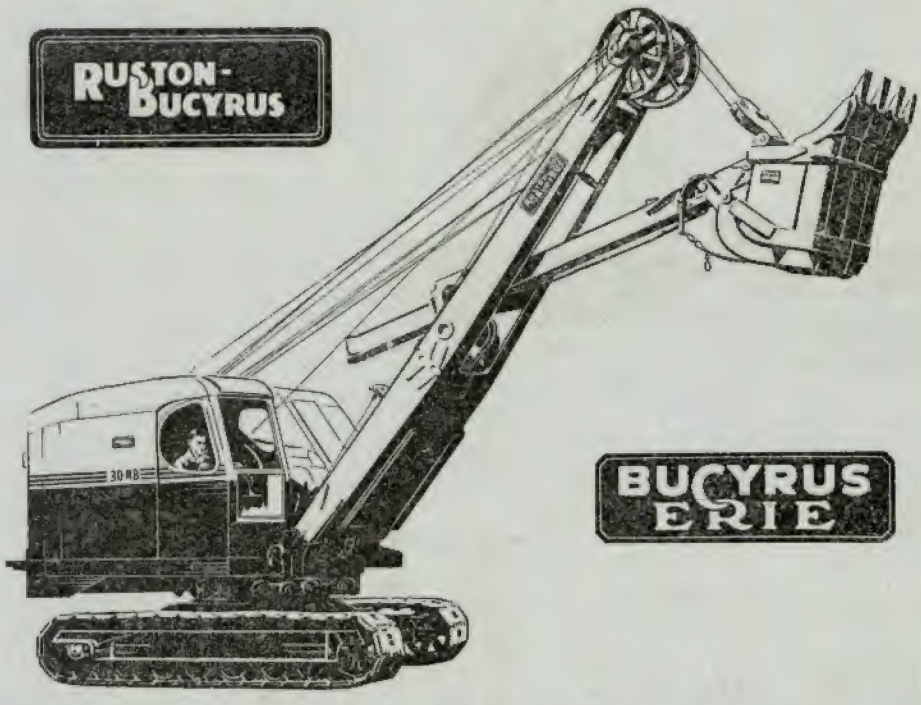
ESCAVADORAS

RUSTON-BUCYRUS, LTD.

E

BUCYRUS-ERIE & Co.

Modelos de 3/8 a 36 jardas cúbicas



As escavadoras de reputação mundial mais utilizadas no território português

Stock permanente de peças sobressalentes
Oficina de reparações
Técnicos e mecânicos especializados
Ensino e treino de operadores

Representantes exclusivos para Portugal Continental e Ultramarino

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

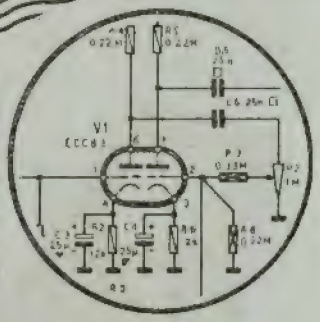
Rua Cascais, 47 (Alcântara)

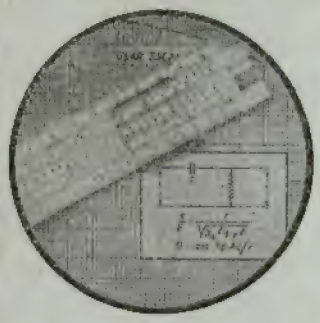
LISBOA

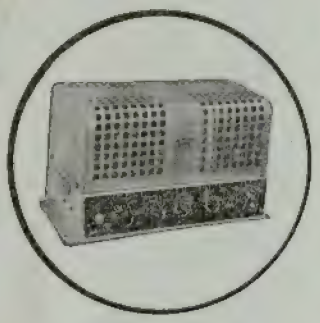
LUANDA **PORTO** LOURENÇO MARQUES

EQUIPAMENTO DE AMPLIFICAÇÃO DE LUXO

BEM CONCEBIDO BEM CALCULADO CONSTRUIDO







LESA

A grande marca italiana

Representantes em Portugal

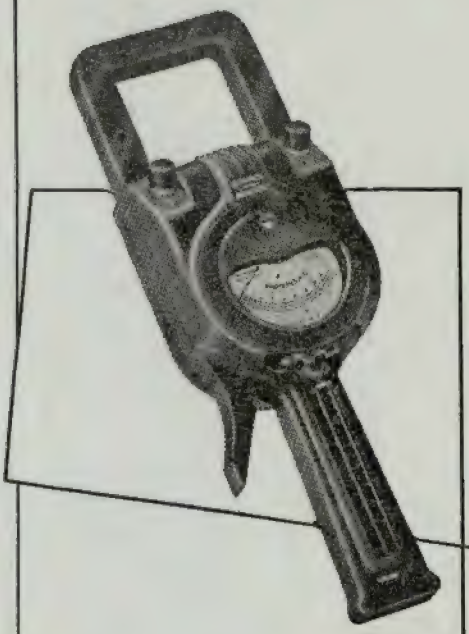
TELECTRA

EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S. A. R. L.

Rua Rodrigo da Fonseca, 103, r/c
LISBOA — Tel. 68 60 72

Rua Sá da Bandeira, 766-1.º E.
Tel. 2 48 18 — PORTO

PINÇAS FERRANTI



PINÇAS VOLT — AMPERIMÉTRICAS

7 ESCALAS

EM AMPÈRES	EM VOLTS
0 – 10 AMPS.	0 – 150 V
0 – 25 »	0 – 600 »
0 – 100 »	
0 – 250 »	
0 – 1000 »	

PINÇA WATTIMÉTRICA

7 ESCALAS

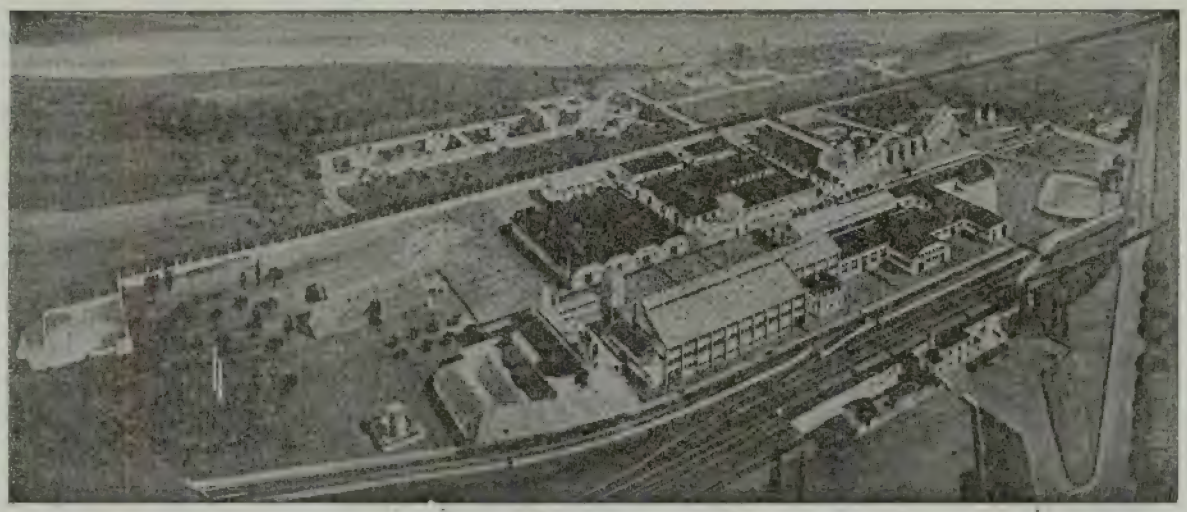
0 – 3 KW
0 – 6 »
0 – 12 »
0 – 30 »
0 – 60 »
0 – 120 »
0 – 300 »

REPRESENTANTES:

C. SANTOS LDA.

29, AVENIDA DA LIBERDADE, 41 — LISBOA

DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA
T. DA GLÓRIA, 17 — LISBOA
160, R. STA. CATARINA, 168 — PORTO



COMPANHIA PORTUGUESA DE FORNOS ELÉCTRICOS

PRODUTORA DE

FERRO GUSA

FERRO LIGAS

FERRO-MANGANÊS
SÍLICO-MANGANÊS
FERRO-SILÍCIOS
15 % - 25 % - 45 % - 75 % - 90 %

CARBONETO DE CALCIO
CIANAMIDA CÁLCICA
PASTA PARA ELÉCTRODOS

E EM MONTAGEM

GRAFITE

FÁBRICAS
CANAS DE SENHORIM
Telefone 67222

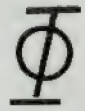
SEDE
Largo de S. Carlos, 4-2.º — LISBOA
Telefones 325343-35556-368989

AÇO TOR

O AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA
PARA BETÃO ARMADO COM
MAIOR VENDA NO MUNDO

TENSÃO DE SEGURANÇA 2 400 Kg/cm²
SEM GANCHOS

Especifique
AÇO TOR
com o símbolo



SOABAL – SOCIEDADE DE AÇOS PARA BETÃO ARMADO, LDA.
RUA JOAQUIM BONIFÁCIO, 2, 1.º — TELEF. 4 05 66 — LISBOA

TÉCNICA

DIRECTOR: MIGUEL FALCÃO
ADMINISTRADOR: RAMIRO CONFRARIA
SECRETÁRIO: JOSÉ MANUEL GONÇALVES

Ano XXXVII — N.º 318 Janeiro de 1962

C. D. U. 378.14

SEMANA DE RECEPÇÃO AOS NOVOS ALUNOS

Palestra proferida na sessão inaugural pelo Dr. F. R. Dias Agudo, Regente de Matemáticas Gerais no I. S. T.

Convidado pela Associação dos Estudantes deste Instituto para dirigir a palavra aos novos alunos de 1961/62, é com o maior prazer que aqui me encontro a satisfazer tal incumbência, dado que sempre defendi que a verdadeira Universidade exige um diálogo constante entre professores e alunos, uma aproximação estreita entre corpo docente e corpo discente. A isto há ainda a acrescentar o tratar-se hoje de uma sessão de recepção aos estudantes que se encontram pela 1.ª vez nesta escola, uma sessão em que, a par das boas vindas que já lhes foram apresentadas pelo Presidente da sua Associação e que eu renovo, não ficarão mal alguns conselhos e palavras de incitamento que concorram para um maior aproveitamento escolar.

* * *

É natural que muitos dos estudantes que há pouco mais de um mês se encontram nesta casa, ansiando muito justamente por uma preparação que os leve a ocupar lugar de destaque na vida nacional, tenham começado a sentir algumas dificuldades com que não contavam e que resultam sobretudo da exagerada desproporção entre o número de alunos e de professores e da exiguidade das instalações para o grande número de estudantes que frequentam o Instituto. Esses é bom que saibam que tais dificuldades não são só nossas, que a falta de professores é hoje um mal mundial e que em muitos países, como ainda há bem pouco em Inglaterra, se chegam a realizar congressos para estudar a melhor maneira de minorar os inconvenientes daí resultantes.

E é justo reconhecer também que a Direcção deste Instituto, dentro dos condicionamentos em que tem que actuar, não se tem poupado a esforços para dar aos seus estudantes melhores condições de trabalho.

A nós alunos e professores, compete contribuir igualmente com um esforço adicional para evitar que o número e o nível dos nossos futuros engenheiros caia muito abaixo das grandes necessidades do momento.

A falta de cientistas e técnicos é tão grande, por toda a parte, que os estudantes aplicados têm quase a certeza que serão logo absorvidos ao atingirem a sua formatura — e não se pode dizer que esta circunstância não constitua um poderoso incentivo para uma maior aplicação ao trabalho. Não vamos, no entanto, raciocinar ao invés e julgar que a falta de técnicos justifica um menor esforço por haver lugar para todos, mesmo mal preparados! O bom caminho deve ser bem outro: sem pôr aos estudantes exigências desmedidas, a actual escassez de especialistas requer, sim, que os que se vão formando continuem à altura de, com a sua competência, compensar o menor número.

* * *

Para a sua boa preparação o estudante tem o direito de exigir dos seus professores dedicação ao ensino, honestidade e muita humildade perante os progressos cada vez maiores da ciência e da técnica, perante o alargamento cada vez maior das fronteiras do saber.

Mas em contrapartida ele deve corresponder com igual honestidade e aplicação, deve evitar que se tornem vãos os esforços dos seus mestres. Sem a cooperação verdadeiramente interessada do aluno, a dedicação do professor não chega para o orientar nos seus estudos, para despertar nele o entusiasmo pelos assuntos que deve estudar.

Um aspecto do problema que não deixo sem referência é a ideia, muito generalizada entre os estudantes, que nas aulas práticas não laboratoriais só o assistente deve trabalhar e não eles próprios. Muitos só parecem satisfeitos quando vêem o assistente resolver os problemas que propõe em vez de serem eles a atacar as questões e a pedir auxílio para vencer dificuldades encontradas. Ignoram que não raras vezes o estudante lucra mais com meia hora de reflexão sobre um problema que não chega a resolver do que com a aprendizagem de uma questão . . . resolvida por outro.

Aos estudantes do primeiro ano eu devo, pois, aconselhar um pequeno esforço para se habituarem a atacar por si os problemas que lhes propõem e a só pedir ajuda de cada vez que encontrem uma dificuldade que não consigam transpor. Tal esforço será bem compensado pelo curso adiante, pois o estudante deve convencer-se o mais cedo possível que quanto mais conseguir descobrir por si mesmo, tanto maior será o seu domínio sobre as matérias que aprendeu. Pode a princípio ter muitas dificuldades, sem dúvida; mas à medida que vai progredindo nos seus estudos as dificuldades serão em menor número e progressivamente maior a confiança nas suas possibilidades.

Infelizmente ainda há estudantes que julgam que o professor os obriga a reflectir nos exercícios que propõe para não se dar ao incómodo de os resolver. Desconhecem esses que muito mais difícil do que resolver os problemas é pôr os alunos a trabalhar sob a sua direcção como se estivessem todos numa grande oficina de aprendizagem, encorajá-los a pôr questões e esclarecer-lhes as dúvidas, ir ao encontro do raciocínio do aluno (em vez de impor o seu próprio raciocínio) para o apreciar e criticar, para ver o que tem de aproveitável e muitas vezes mesmo para tirar partido dos insucessos em proveito do estudante.

A ciência não estaciona; e o professor universitário, ao mesmo tempo que deve convencer os seus alunos que ela é assunto vivo, em expansão e desenvolvimento, que ele próprio está constantemente a aprender (vencendo dificuldades!), deve orientá-los de tal modo que saiam da universidade com alguma confiança em si próprios e com a convicção de que para acompanhar o desenvolvimento científico não é necessário possuir dotes excepcionais mas apenas algum interesse e tempo para estudo e meditação; enfim, deve prepará-los por forma que os melhores venham a tornar-se eles mesmos os futuros promotores do progresso.

Muitos estudantes de hoje preocupam-se demais com o exame e menos com a verdadeira aprendizagem. Dedicando quase exclusivamente a sua atenção a exercícios saídos em provas anteriores, têm muitas vezes a surpresa desagradável de constatar que as questões que lhes põem diferem de todas as que conheciam e que não estão preparados para as resolver. Se estudassem para saber, para se valorizarem cada vez mais (como é mister que aconteça!) a aprovação nos exames viria por acréscimo.

Pena é que dificuldades de vária ordem não permitam que o número de alunos por professor seja muito inferior ao que hoje se verifica; porque então eu advogaria mesmo a supressão da maior parte dos exames, já que com turmas pequenas seria bem fácil e muito mais seguro apreciar o aproveitamento dos estudantes no seu trabalho de todos os dias.

* * *

Há também alunos que julgam deslocados no seu curso muitos dos assuntos que lhes ensinam por ouvirem dizer a colegas mais velhos ou mesmo a pessoas já formadas que nunca necessitaram

desta ou daquela matéria de interesse demasiado teórico. A este respeito devo dizer que sou o primeiro a acreditar que a maioria dos estudantes nunca terá necessidade de aplicar efectivamente alguns dos assuntos que aprende na escola; mas também é minha convicção que todos terão que utilizar a cada momento a desenvoltura mental que tais matérias lhes proporcionam. Porque, numa época em que a ciência e a técnica se expandem constantemente, o estudante tem que ser preparado para estudar e resolver por si os problemas que não tenham constituído objecto do seu curso e que venham a surgir-lhe na prática.

Se me permitem uma breve referência às cadeiras que me é dado ensinar, eu entendo que se deve dar grande relevo a toda a estrutura de um curso e não ter apenas a preocupação de fornecer simples técnicas de cálculo. Estas tornam-se inevitàvelmente mais acessíveis depois de bem compreendida a teoria que a elas conduz.

Não quer isto dizer que as teorias tenham que ser demasiado abstractas (a não ser que se confunda abstracto com moderno) pois numa escola de engenharia o professor de matemáticas deve conhecer a importância de invocar, sempre que possível, questões da realidade física de que um dado problema matemático possa servir de modelo. Deve ter presente que não basta provar que um problema tem solução mas que é fundamental obter essa solução; não deve ignorar a importância excepcional que assumiram as recentes técnicas de cálculo numérico com o aparecimento dos modernos calculadores electrónicos.

Ensinar os alunos a obter conclusões lógicas a partir de hipóteses feitas não implica afastamento da realidade física. E se fosse necessário invocar exemplos bastaria citar dois dos maiores nomes da história da ciência, Newton e Gauss; e mais recentemente, J. Von Neumann (falecido há poucos anos e grande impulsionador dos calculadores electrónicos) e N. Wiener (o professor do M. I. T. felizmente ainda vivo e que é considerado o verdadeiro criador da Cibernética).

Estudantes do I. S. T.

O prestígio de uma escola tem de provir da acção conjunta dos seus professores e alunos.

A juventude é por natureza irreverente; mas a irreverência positiva, a que leva ao aperfeiçoamento, será sempre bem-vinda. Indesejável é a irreverência mal intencionada, derrotista, como a do estudante que para justificar os seus insucessos não hesita em faltar à verdade e afirmar que nesta ou naquela cadeira a percentagem de aprovações foi de 10 a 15 quando na realidade foi de 30 ou 40; indesejável é a atitude do aluno que, perante uma dificuldade que lhe expõe um colega mais novo, o aconselha logo a desistir, com o argumento bem conhecido de que é inútil preocupar-se tanto com o estudo porque no fim do ano poucos conseguirão triunfar.

Alunos do primeiro ano: estai de guarda contra estes conselhos enganadores e confiai que as percentagens de aprovações não são fixadas à priori, antes dependem da maior ou menor aplicação dos próprios estudantes.

* * *

Formados por esta escola, vós ficareis marcados por ela para toda a vida; e bom seria que a preparação aqui recebida vos levasse a dar uma contribuição positiva para um diálogo mais vivo entre a universidade e a indústria. Conseguir-se-ia assim alargar a confiança que as grandes empresas industriais deviam ter no trabalho científico, acreditando que a maior parte das ideias de que se alimentam devem provir do pensamento criador dentro das Universidades.

E para finalizar, resta-me desejar que as minhas palavras possam servir de algum estímulo aos estudantes de hoje e dos quais o país tanto tem a esperar. E que todos fiquem com a certeza que os professores acompanham com satisfação os triunfos dos discípulos visto que, no fim de contas, os bons estudantes e bons profissionais ainda ficam a constituir, pela vida fora, as melhores obras dos seus mestres.

Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques

(C. I. G. R. É.)

A Conferência Internacional das Grandes Redes Eléctricas, mundialmente conhecida pelas suas iniciais C. I. G. R. É., reunirá o seu próximo Congresso, que será o 19.º, de 16 a 26 de Maio próximo, como de costume, em Paris.

Nesta reunião, na qual serão apresentados 130 relatórios, prosseguirá o estudo dos grandes problemas tratados pela C. I. G. R. É. no plano internacional, isto é, tudo o que se relaciona com a produção, a transformação e a distribuição da energia eléctrica em alta tensão.

Esse estudo incidirá principalmente sobre alternadores, transformadores, interruptores, condensadores, subestações de corte ou de transformação, óleos, cabos subterrâneos e submarinos, a concepção e o funcionamento das redes, as perturbações telefónicas e radiofónicas, as teletransmissões, enfim sobre a construção e exploração de linhas de energia a grandes distâncias e a muito altas tensões, assim como a coordenação dos isolamentos.

No decorrer da sessão anterior, que teve lugar em 1960, estiveram presentes 1908 técnicos, vindo de 50 países. É indiscutível que a reunião deste ano apresentará o mesmo interesse apaixonante das anteriores. Prosseguir-se-á na rectificação dos diferentes pontos de vista e concepções que se realiza de dois em dois anos, sempre do maior interesse.

Para informações e inscrições no Congresso, deverá dirigir-se à

COMISSÃO NACIONAL PORTUGUESA da C. I. G. R. É. — Avenida Sidónio Pais, 24-1.º — LISBOA 1

Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem

A Comissão Nacional Portuguesa de Irrigação e Drenagem comunica que está à venda a publicação «The ICID Bibliography on irrigation, Drainage, River Training and Flood Control—1960», ao preço de Rs. 5,00 (cinco rupias indianas) por exemplar.

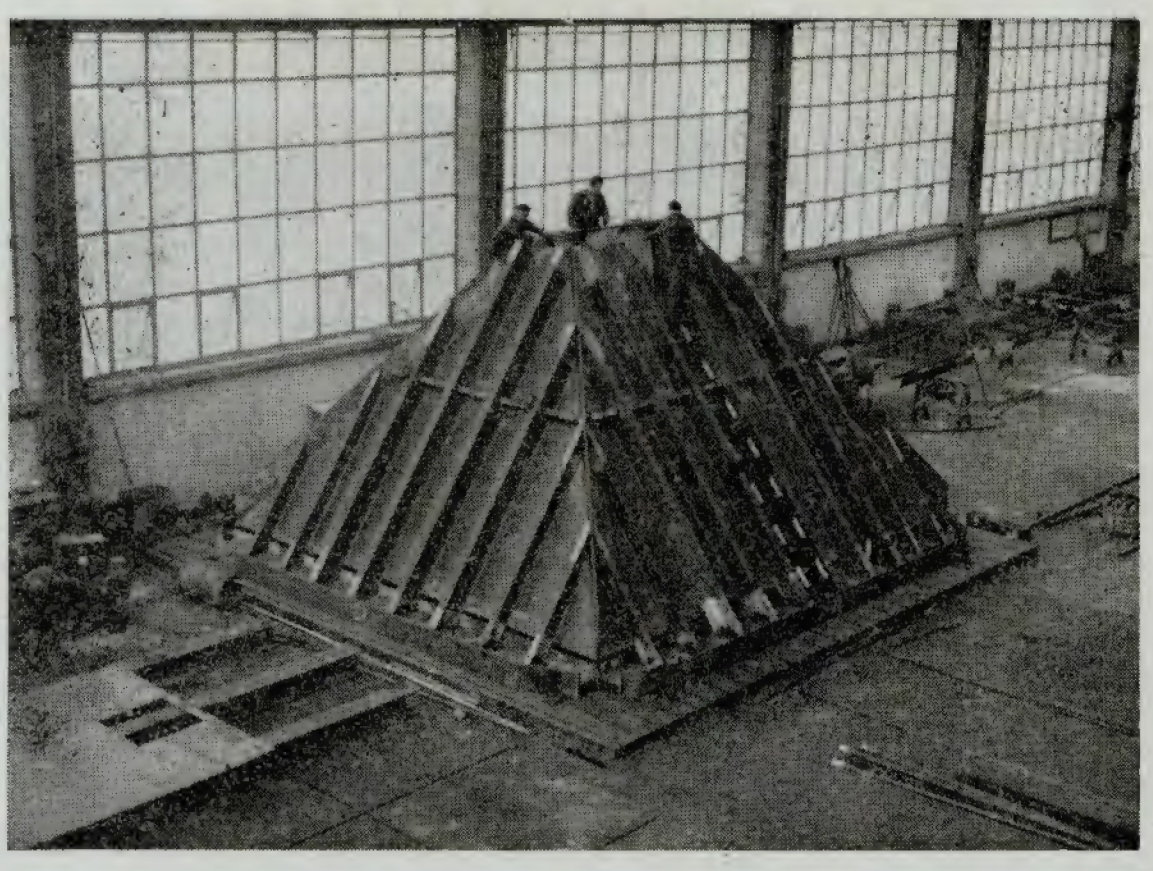
Os pedidos devem ser feitos por intermédio da Comissão Nacional Portuguesa, acompanhados dum cheque do correspondente valor, pagável à ordem da «The International Commission on Irrigation and Drainage».

MAGUE

CONSTRUÇÕES METALO-MECÂNICAS MAGUE, L.DA
(S. E. MONIZ DA MAIA & VAZ GUEDES, L.DA)
Alverca — Portugal

Guindastes eléctricos de 10 t/20 m em funcionamento no Porto da Beira — Moçambique

PROJECTO E FABRICO DE
PONTES ROLANTES
GUINDASTES
GRUAS, DERRICKS E GUINCHOS
APARELHOS DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS
CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS



TREMONHA

AÇOS VAZADOS • FERROS FUNDIDOS
MECÂNICA MÉDIA E PESADA
CONSTRUÇÕES METÁLICAS

comportas
turbinas
condutas forçadas
reservatórios sob pressão
permutadores de calor (Licença KELLOGG)

REDUTORES DE VELOCIDADE

DIVISAO METALO-MECÂNICA

COMPANHIA UNIÃO FABRIL

AV. 24 DE JULHO, 170 — LISBOA 2 — TELEFONES 67 04 21 E 67 20 61 — TELEGRAMAS: METALOFABRIL

C. D. U. 622.76

INTRODUÇÃO À ESTRATIFICAÇÃO

POR JOSÉ QUINTINO ROGADO
ASSISTENTE DO I. S. T.
Bolseiro do I. A. C. na C. E. E. N. — Laboratório de Preparação de Minérios

1. Princípio geral

Uma coluna de partículas sólidas atravessada por um fluido com velocidade ascencional expande-se, logo que tal velocidade ultrapassa determinado valor. Ao ocorrer essa expansão, as partículas mais graúdas afastam-se umas das outras e passam a descrever trajectórias aproximadamente fechadas. As partículas mais finas são elutriadas. O leito assim criado comporta-se como um fluido e, por isso, se lhe chama um leito fluidizado.

Todavia, a corrente ascencional de fluido não é o único modo de que se dispõe para criar leitos fluidizados. É também comum, na Preparação de Minérios, a utilização de corrente de água assente em superfície ligeiramente inclinada ou transitando em caleira (como nas espirais de Humphrey, nos reolavadores, nos concentrados de leque, etc.), ou o emprego de um filme de água apoiado sobre superfície plana com movimento alternativo quase horizontal (como nas mesas oscilantes, etc.). Com a mesma finalidade se usa ainda cuva com movimento alternativo no processo de concentração por meios densos, denominado processo Stripa (1).

Além disso, ocorrem ainda processos de fluidização mistos, como seja o que emprega corrente ascencional de ar e movimento alternativo (mesas pneumáticas).

O interesse em considerar-se a fluidização, sob as suas diversas formas de realização, reside no facto da estratificação, fenómeno fundamental para a Preparação de Minérios, se desenvolver no seio de sistemas fluidizados.

É sabido que a estratificação se pode manifestar por duas formas, *estratificação directa* e *estratificação inversa*. Contudo, mostraremos à frente que qualquer delas se pode interpretar como o resultado da mesma evolução dos sistemas fluidizados.

Até há uns quinze anos atrás, a razão de ser da existência destas duas formas de estratificação permanecia um pouco confusa. A explicação disponível para a primeira ia buscar-se às leis da isodromia simples e perturbada e a sua semelhança com a estratificação nos *placers* dava-lhe foros de normal ou natural; perante a segunda, chamada por antítese inversa, embora mais frequente, não se dispunha de explicação plausível.

Foi o Dr. Eng. Friedrich W. Mayer quem, em fins de 1946, perante a Ausschuß für Steinkohlen-Aufbereitung, em Essen, apresentou as bases para uma explicação racional da estratificação, considerando-a uma evolução *natural* irreversível (MAYER, 1947).

Com efeito, um sistema de partículas com duas fases sólidas (2) de calibre único e *hábito* semelhante, sujeito a jigagem bem conduzida, produz dois estratos sobre o crivo da jiga. O inferior, constituído pelas partículas mais *pesadas*, e o superior, pelas mais *leves*.

Ora, como Mayer então notou, a energia potencial do sistema (ou a altura do centro de gravidade do sistema) é maior antes do que depois da estratificação. Quer dizer, durante a evolução do sistema, a energia potencial diminuiu e atingiria valor mínimo na configuração correspondente à estratificação *perfeita*, isto é, quando não ocorresse nenhuma partícula *leve* a cota inferior à de qualquer partícula *pesada*.

Alcançar-se-ia assim a distribuição de equilíbrio estável do sistema, tendo o fluidizante (corrente de ar ou água) servido apenas para afrouxar a interacção mútua das partículas e permitir a evolução.

(1) Notar que nos crivos vibrantes e oscilantes ocorre também a fluidização do leito em crivagem (TAGGART, 1953).

(2) Duas espécies mineralógicas de pesos específicos diferentes.

Este ponto de vista lançava nova luz sobre o próprio mecanismo da estratificação, além de abandonar as explicações fornecidas pelas clássicas teorias de jigagem baseadas, todas elas, no movimento recíproco das partículas, perturbado pela interacção e pela constrição da secção de passagem do fluido através o leito. Estratificação essa que era, sem dúvida, um fenómeno natural mas que carecia, até então, de classificação correcta dentro do quadro da Física. Este aspecto também não passou despercebido a Mayer que em 1950, na sua comunicação ao Congresso Internacional de Preparação de Carvões, em Paris, concluía:

> «Na técnica da jigagem nada temos que ver com as leis físicas que se verificam com indivíduos isolados (grãos), mas sim com resultados estatísticos válidos para muitos indivíduos. Por isso, há que recorrer a métodos de investigação e a uma ordem de ideias estatísticas. Tem de estabelecer-se uma teoria das suspensões graúdas dispersas. Teoria essa que será como que uma espécie de prolongamento da teoria cinética dos gases ... » (MAYER, 1951).

Deste modo, dava-se conta, pelo menos de forma incipiente, que seria a Mecânica Estatística o instrumento a usar na estruturação de uma teoria da estratificação.

Também Tarján chama a atenção para este aspecto, quando afirma (TARJÁN, 1953), comentando as conclusões de Mayer, que o leito de jigagem, ao estratificar, segue a evolução definida pelo princípio de Clausius, isto é, tende para a entropia máxima, ou por outras palavras, para a distribuição de maior probabilidade, ou ainda para a que traduz menor energia potencial.

Sem, de momento, o estruturarmos detalhadamente à custa da formulação disponível em Mecânica Estatística, admitamos válido o princípio seguinte:

> «*A estratificação corresponde à evolução natural do sistema fluidizado e, por isso mesmo, conduz à distribuição de energia potencial mínima compatível com o sistema*».

E vejamos como se pode com ele explicar o mecanismo, aparentemente ambíguo, das duas formas de estratificação.

É conveniente notar que, no que se segue, suporemos possível, em todos os casos, a estratificação perfeita, isto é, a distribuição de energia potencial mínima, situação que nem sempre se depara na experiência, porquanto o grau de estratificação efectivamente alcançado depende do tempo disponível para a evolução do sistema, da viscosidade interna do sistema fluidizado, da natureza e características do fluidizante, etc.

Estudaremos separadamente as duas formas de estratificação.

2. Estratificação directa

Como se sabe, é a estratificação directa a que ocorre quando o sistema é fluidizado por corrente ascencional.

Três esquemas teóricos há que analisar. Um em que as partículas do sistema têm todas o mesmo peso específico, mas calibres variando entre limites afastados, embora o *hábito* dos diferentes calibres seja o mesmo — *sistema não calibrado com uma fase sólida*; outro em que as partículas têm todas o mesmo calibre e *hábito*, mas exibem dois pesos específicos — *sistema calibrado com duas fases* (1); e, finalmente, outro em que as partículas têm calibres entre dois limites afastados, embora com com o mesmo *hábito*, e exibem dois pesos específicos — *sistema não calibrado com duas fases* (2).

Vejamos como evolui a estratificação directa em cada um destes sistemas.

2.1. *Sistema não calibrado com uma fase*

Nos sistemas deste tipo a estratificação traduz-se pela sobreposição de estratos constituídos por partículas tanto mais finas quanto mais alto se encontram os estratos.

Para explicar esta distribuição à luz do princípio geral basta considerar que, para dada *velocidade superficial* (3) do fluidizante, a densidade de partículas admissível no sistema é função crescente do calibre das partículas, ou, por outras palavras, a proporção de vazios é função decrescente do calibre. O Quadro I, extraído dos ensaios

(1) Da análise deste sistema se infere o comportamento dos sistemas calibrados com mais de duas fases.

(2) Da análise deste sistema se infere o comportamento dos sistemas não calibrados com mais de duas fases.

(3) Velocidade do fluidizante à saída da coluna de partículas.

de BARDWELL (1914), e o exame das correlações de Zenz & Othmer (Fig. 1), Happel, Hawksley--Vand e Jahnig (ZENZ & OTHMER, 1960) mostram claramente este aspecto.

QUADRO I

Densidades admissíveis com leitos de partículas de quartzo
(BARDWELL 1914)

Calibre (mm)	Densidade admissível (gr/galão)
2,19	4830
1,84	4420
1,54	4050
1,20	3580
0,92	3140
0,841	3000
0,77	2870
0,60	2530
0,50	2310
0,42	2120
0,35	1940
0,26	1670
0,166	1330
0,070	870

Assim sendo, a distribuição de energia potencial mínima compatível com o sistema corresponde à estratificação directa observável experimentalmente, visto que os estratos de partículas grosseiras têm maior densidade média de sólidos que os constituídos por partículas finas.

Faz-se notar que qualquer distribuição em que partículas finas preenchessem o volume intersticial das partículas grosseiras, embora pudesse conduzir a energia potencial menor, não seria possível por não ser compatível com o sistema fluidizado (LEVA, 1959).

2.2. *Sistema calibrado com duas fases*

É o sistema estudado inicialmente por Mayer. Se o *hábito* das partículas das duas fases sólidas em presença não é muito dissemelhante, para dada velocidade superficial do fluidizante, a densidade de partículas é função crescente da massa específica das partículas (Fig. 1). Se a esta circunstância somarmos o efeito directo da massa específica, concluímos que a densidade de massa é nìtidamente superior no estrato de partículas *pesadas*, o qual terá, por força do princípio geral, que se situar por baixo do estrato de partículas *leves*, como mostra a experiência.

2.3. *Sistema não calibrado com duas fases*

Trata-se da sobreposição dos dois sistemas descritos anteriormente. Se o domínio de existência dos calibres for largo, ocorrerá, debaixo para cima:

(i) estrato de partículas *pesadas* e graúdas;
(ii) estratos mistos, onde partículas *pesadas* de determinado intervalo de calibre ocorrem à mesma cota que partículas *leves* de maior calibre;
(iii) estrato de partículas *leves* e finas.

A existência e espessura destes três tipos de estratos dependem, como é óbvio, do espectro granulométrico do sistema de partículas.

De acordo com o princípio geral, processada a estratificação perfeita, situar-se-ão à mesma cota as partículas que conduzem à mesma densidade de massa, a qual é simultâneamente função da massa específica da fase sólida e da percentagem de vazios:

$$\rho = (1 - \varepsilon)\ (\rho_s - \rho_o) \qquad (1)$$

onde é:

ρ, a densidade de massa (sólida) do estrato;
ε, a proporção de vazios do estrato $\left(\frac{\text{volume de vazios}}{\text{volume total}}\right)$;
ρ_s, a massa específica da fase sólida;
ρ_o, a massa específica do fluido.

Considerando, portanto, duas fases sólidas de massas específicas diferentes, ρ_{s1} e ρ_{s2}, elas poderão ocorrer no mesmo estrato se

$$(1 - \varepsilon_1)\ (\rho_{s1} - \rho_o) = (1 - \varepsilon_2)\ (\rho_{s2} - \rho_o). \qquad (2)$$

Assim, fixados, por exemplo, ε_1 e D_1 (diâmetro médio das partículas de uma das espécies), a fig. 1 fornece a velocidade superficial de fluidização para dado fluido e simultâneamente ε_2 e D_2 (diâmetro médio das partículas da outra espécie que pode ocorrer no mesmo estrato). Encon-

tram-se, deste modo, os valores experimentais há muitos anos estabelecidos por Richards, para a chamada *relação de isodromia perturbada*, o que é notàvelmente relevante.

3. Estratificação inversa

Como é sabido, a estratificação inversa desenvolve-se quando o sistema de partículas é fluidi-

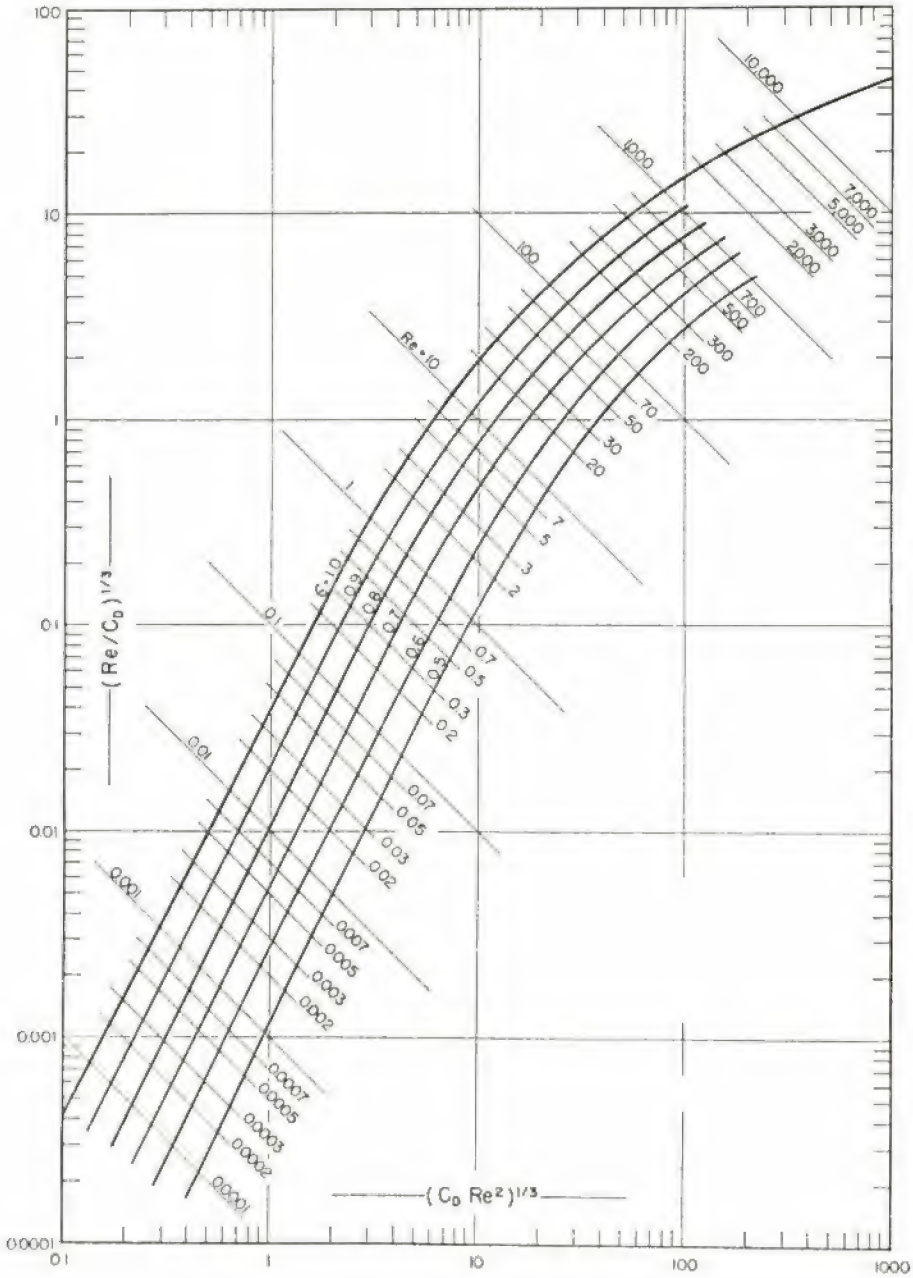


Fig. 1 — Correlação de Zenz & Othmer (1960)

Legenda: R_e — número de Reynolds

C_D — coeficiente de dragagem

$$(C_D R_e^2)^{1/3} = D_P \Big/ \left(\frac{3}{4}\ \frac{\mu_o^2}{\rho_o(\rho-\rho_o)\,g}\right)^{1/3}$$

$$(R_e/C_D)^{1/3} = U \Big/ \left(\frac{4}{3}\ \frac{\mu_o(\rho-\rho_o)\,g}{\rho_o^2}\right)^{1/3}$$

D_P — Diâmetro das partículas

U — Velocidade superficial do fluido

μ_o — coeficiente de viscosidade do fluido

ρ — massa específica da fase sólida

ρ_o — massa específica do fluido

ε — proporção de vazios

g — aceleração da gravidade

zado por uma corrente ou filme de água ou ainda por agitação horizontal ou quase da superfície ou cuva que o suporta.

Nesta forma de estratificação, por questões de sistematização, estudaremos os mesmos esquemas básicos abordados na estratificação directa. Assim teremos:

3.1. *Sistema não calibrado com uma fase sólida*

A observação directa mostra que a proporção de vazios de um sistema fluidizado pelos processos apontados, mantidos certos outros parâmetros invariáveis, é função crescente do calibre das partículas.

Deste modo, a aplicação do princípio geral conduz à bem conhecida configuração da estratificação inversa. Isto é, de baixo para cima, ocorrem estratos de calibre crescente.

É evidente que no leito assim estratificado podem ocorrer estratos onde partículas finas preenchem o volume de vazios existente entre partículas mais graúdas (estratos mistos). Contudo, mesmo em casos como este, se o espectro granulométrico fornecer partículas finas em excesso formar-se-á, abaixo do estrato misto, outro constituído apenas por partículas finas.

Além disso, um estrato misto binário pode por sua vez preencher o volume de vazios de outro estrato constituído por partículas mais graúdas e assim sucessivamente, conforme os valores das proporções de vazios dos estratos mistos de ordem superior que se poderem criar e dependendo da abundância relativa dos diferentes intervalos de calibre no sistema.

3.2. *Sistema calibrado com duas fases*

Neste caso a proporção de vazios admissível para as duas fases é aproximadamente a mesma (1), mas, evidentemente, a densidade de massa admissível é diferente, porque as massas específicas das duas fases também o são.

Ao ocorrer a estratificação perfeita, formar-se-á um estrato inferior constituído apenas pelas partículas densas ao qual se sobreporá um estrato constituído apenas pelas partículas leves, distribuição esta que corresponde à energia potencial mínima e que é análoga à descrita na estratificação directa para o sistema do mesmo tipo (2.2).

Esta variedade de estratificação é susceptível de mais pormenorizada análise do ponto de vista energético.

A experiência mostra que, se a agitação do leito formado pelo sistema, for efectuada no seio de um líquido se facilita a estratificação. Este facto parece não ser devido apenas à diminuição do atrito interno do leito fluidizado. Para o analisarmos, consideremos as duas fases sólidas em estratificação, de pesos específicos γ_1 e γ_2, evoluindo no seio de um fluido de peso específico γ. Dois casos de interesse prático se podem dar:

3.2.1 : $\gamma_2 < \gamma < \gamma_1$

Se forem P_1 e P_2 os pesos das fases sólidas em presença, serão P'_1 e P'_2 os pesos aparentes respectivos, sendo P'_2 o módulo de um vector dirigido de baixo para cima.

No início do processo o sistema é suposto exibir distribuição uniforme das duas fases e seja $h_1 + h_2$ a altura total do leito que o mesmo então forma. Admita-se ainda que não existe fluido sobrenadante.

A energia potencial no campo das forças exteriores será, tomando por referência o plano horizontal que suporta o leito,

$$E_0 = (P'_1 - P'_2)\,\frac{h_1 + h_2}{2}, \qquad (3)$$

quantidade que pode ser positiva ou negativa conformes o valores de P'_1 e P'_2.

Consumada a estratificação perfeita, supondo a variação do volume de vazios desprezável, a energia potencial será

$$E_1 = P'_1\,\frac{h_1}{2} - P'_2\left(\frac{h_2}{2} + h_1\right), \qquad (4)$$

onde h_1 e h_2 são as alturas dos estratos mais denso e menos denso, respectivamente.

Quer dizer, a energia potencial libertada até à estratificação perfeita foi

$$\Delta E = E_0 - E_1 = \frac{1}{2}\,(P'_1\,h_2 + P'_2\,h_1) \qquad (5)$$

É sabido que, nos processos reais, se não atinge a estratificação perfeita a que corresponde a energia potencial E_1, mas sim estágio inter-

(1) É provável que a proporção de vazios da fase mais densa seja ligeiramente menor do que a da outra.

médio. Mas a transformação, desde a distribuição uniforme inicial até à distribuição correspondente a certo grau de estratificação, é realizada à custa de trabalho interno do sistema, a expensas da energia potencial inicialmente disponível na Hamiltoneana do sistema (ou na sua energia interna). Tal trabalho de estratificação é feito contra os potenciais de interacção (que se traduzem em forças de atrito, por exemplo) e, porventura, contra a energia cinética do sistema. Todavia, parece poder admitir-se que, se a viscosidade interna (ou os potenciais de interacção) não variar sensìvelmente, quando se muda de fluido, o trabalho de estratificação será constante com P_1, P_2, h_1 e h_2.

Isto é, quanto maior for o quociente $\Delta E/E_0$ maiores serão as disponibilidades de energia potencial por unidade de energia potencial inicial que poderão ser libertadas para efectuar o trabalho de estratificação. Por esta razão, sugere MAYER (1947) que se adopte aquele quociente para avaliar a *dificuldade* de dada estratificação ou para comparar as *dificuldades* de estratificações diferentes.

Considerando constante o volume de vazios, durante a estratificação, e sendo p_1 a percentagem em peso da fase mais densa, será

$$\frac{\Delta E}{E_0} = \frac{p_1 (100 - p_1)(\gamma_1 - \gamma_2)}{p_1^2 \gamma_2 \frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma_1} + p_1 (100 - p_1)(\gamma_1 - \gamma_2) - (100 - p_1)^2 \gamma_1 \frac{\gamma - \gamma_2}{\gamma_2}} \tag{6}$$

Todavia, a utilização do quociente $\Delta E/E_0$, traduzido por (6) ou por outra expressão análoga pode apresentar certa dificuldade neste caso ($\gamma_2 < \gamma < \gamma_1$).

Com efeito, por um lado aquele quociente depende do valor de E_0 que se não pode fixar senão a menos uma constante aditiva. Assim, na expressão (3), adoptou-se, com MAYER (1947), o critério de considerar nula a energia potencial do sistema inicial, quando o seu centro de gravidade estiver no plano que suporta o sistema.

Por outro lado, o que é mais importante, quando $E_0 = 0$, o quociente $\Delta E/E_0$ tem um ponto de discontinuidade $\left(\frac{\Delta E}{E_0} = \pm\infty\right)$. Quer dizer, adoptando a convenção implícita em (3), $\frac{\Delta E}{E_0}$ tornar-se-á infinito, se o denominador de (6) for nulo. Notando que este se pode escrever como o produto de dois factores

$$\frac{p_1 \gamma_2 + (100 - p_1)\gamma_1}{\gamma_1 \gamma_2} \left[p_1 \gamma_2 (\gamma_1 - \gamma) - (100 - p_1)\gamma_1 (\gamma - \gamma_2)\right] \tag{7}$$

sendo o primeiro sempre diferente de zero (e positivo), a condição de anulação de E_0 traduz-se pela equação

$$\frac{p_1}{(100 - p_1)} = \frac{\gamma_1 (\gamma - \gamma_2)}{\gamma_2 (\gamma_1 - \gamma)} \tag{8}$$

que é linear em p_1 e γ.

Isto é, nos domínios de existência de p_1 e γ, podem encontrar-se infinitos pares (p_1, γ) que anulem E_0 e tornem $\Delta E/E_0$ infinito.

Contudo, fora dos pontos de descontinuidade e nos intervalos em que não muda de sinal, é $\frac{\Delta E}{E_0}$ função crescente com γ, o que conduz à conclusão (MAYER, 1947) de que a *dificuldade de separação decresce quando o peso específico γ do fluido aumenta*.

Esta conclusão confere ao emprego dos meios densos especial relevância no processo denominado Stripa, inventado em 1954 pelo engenheiro sueco Jonnas Svensson.

3.2.2 : $\gamma < \gamma_2 < \gamma_1$

Neste caso é

$$E_0 = (P'_1 + P'_2)\frac{h_1 + h_2}{2} \tag{8}$$

$$E_1 = P'_1 \frac{h_1}{2} + P'_2 \left(\frac{h_2}{2} + h_1\right) \tag{9}$$

$$\Delta E = E_0 - E_1 = \frac{1}{2}(P' h_2 - P'_2 h_1). \tag{10}$$

Comparando (5) com (10) verifica-se ser a *dificuldade* de separação menor no caso (3.2.1) que no caso (3.2.2), quando for E_0 o mesmo, conclusão que por si só coloca a separação efectuada na cuva Stripa em situação vantajosa em relação à mesma operação efectuada por jigagem, onde é $\gamma < \gamma_2 < \gamma_1$.

Teremos, neste caso, admitida a restrição referida em (3.2.1)

$$\frac{\Delta E}{E_0} = \frac{p_1 (100 - p_1)(\gamma_1 - \gamma_2)}{p_1^2 \gamma_2 \frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma_1} + p_1 (100 - p_1)(\gamma_1 + \gamma_2 - 2\gamma) + (100 - p_1)^2 \gamma_1 \frac{\gamma_2 - \gamma}{\gamma_2}} \tag{11}$$

que é função contínua e crescente com γ. O seu máximo ocorre com $\gamma \equiv \gamma_2$ e vale

$$\left(\frac{\Delta E}{E_0}\right)_{max} = \frac{(100 - p_1)}{(100 - p_1) + p_1 \frac{\gamma_2}{\gamma_1}} \qquad (12)$$

3.3. *Sistema não calibrado com duas fases*

Mesmo cingindo-nos a duas fases sólidas de *hábito* semelhante, o estudo da distribuição de energia potencial mínima apresenta certa complexidade. Por outro lado, a experiência só pode fornecer dados dizendo respeito a sistemas concretos, porquanto os principais parâmetros que comandam tal distribuição são:

(i) proporção de vazios que, para dado estado de fluidização, é função principalmente do calibre e do *hábito*;
(ii) pesos específicos das fases sólidas e do fluido;
(iii) espectro granulométrico do sistema.

No caso de ser $\gamma_2 < \gamma < \gamma_1$, mesmo que o leito a fluidizar, no início, não consinta fluido sobrenadante, pode acontecer, que após a estratificação, exista entre o estrato do fundo e o da superfície um volume vazio de sólidos. Basta, para tanto, que a proporção de vazios de qualquer dos estratos ou de ambos seja inferior ao do leito no estado inicial. Assim acontecendo, ocorre no estrato do fundo, a estratificação inversa, tal como foi descrita em (3.1) e, no estrato superficial, a estratificação inversa *invertida* que se assemelha à estratificação directa descrita em (2.1).

Contudo, se a altura do fluido não for suficiente para permitir a existência do vazio de sólidos intermediário, ocorrerá interpenetração entre os dois estratos, o do fundo e o superficial, isto é, *aparecerão juntas partículas graúdas das duas fases.*

E se existirem mais de duas fases sólidas cujos pesos específicos estejam entre γ_1 e γ_2, ocorrerá sobreposição de sub-estratos do fundo, todos exibindo estratificação inversa mas deslocados em altura, uns em relação aos outros, de tal modo que as partículas de peso específico $\gamma_i - d\gamma_i$ encherão o volume intersticial das partículas mais graúdas de peso específico γ_i.

Simultâneamente, ocorrerá interpenetração dos sub-estratos superficiais, estes apresentando estratificação inversa invertida, e todos eles constituídos por partículas de peso específico inferior ao do fluido. Igualmente os sub-estratos se encontrarão deslocados em altura, uns em relação aos outros, de tal modo que, as partículas de peso específico $\gamma_i + d\gamma_i$ encherão o volume intersticial de partículas mais graúdas de peso específico γ_i.

Pode também acontecer que os dois estratos assim constituídos se interpenetrem, por sua vez, conduzindo a zona central misturada, que pode ser desfeita aumentando suficientemente a altura do fluido.

E pouco mais se pode acrescentar de carácter geral. Em cada situação concreta, há que recorrer a ensaios para poder caracterizar pormenorizadamente a estratificação.

No caso de ser $\gamma < \gamma_2 < \gamma_1$, ocorre apenas o estrato do fundo, constituído por dois (no caso de duas fases) ou mais (no caso de mais fases) sub-estratos deslocados em altura como se descreveu atrás. É esta a estratificação típica das mesas oscilantes, espirais de Humphrey, reolavadores, etc.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Bardwell, S. (1914): Application of Hindered Settling to Hydraulic Classifiers. *Transactions of the American Institute of Mining Engineers*, **46**, p. 266-276.

Leva, M. (1959): Fluidization. McGraw-Hill Book Company, Inc. Londres.

Mayer, F. W. (1947); Neue Wege in der Aufbereitungsforschung. *Bergbau-Archiv*, **4**, p. 84-93. Essen.

——(1951): Eine neue Erklärung des Setzvorganges und ihre Folge für dite zweckmäßige Gestaltung des Setzhubdiagramms. *Glückauf*, **33/34**, p. 776-783. Essen.

Taggart, A. (1953): Handbook of Mineral Dressing. John Willey & Sons, Inc. New-York.

Tarján, G. (1953): Contribution to the classical theory of jigging. *Acta Technica Academiæ Scientiarum Hungaricæ*, **6**, p. 295-317, Budapest.

Zenz, F. A. & Othmer, D. F. (1960): Fluidization and Fluid-Particle Systems. Reinhold Publishing Corporation, New-York.

C. D. U. 621.311.5/91

Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

— Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.)

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 94 °/₀ dos totais do País*

I — Breve nota mensal

Sob o ponto de vista hidrológico, o mês de Novembro apresentou-se, no conjunto, muito acima da média.

Foi efectuada exportação de energia para Espanha através da linha Picote-Saucelle a pedido da UNESA, ficando a rede eléctrica nacional em paralelo com a rede interligada da Europa ocidental, durante os períodos de exportação. Para compensação foi importada energia da Central de Conchas através do Lindoso.

II — Elementos gerais (GWh)

a) Mensais

	1960	1961	Variação °/₀
Produção hidráulica (P_h) . . .	275,4	306,8	+ 11
Produção térmica (P_t)	0,0	0,0	0
Produção total (P_T)	275,4	306,8	+ 11
Exportações (Ex)	—	2,2	—
Importações (I)	—	2,1	—
Produção para consumos não perman. (P_{cnp}) . .	65,3	54,8	— 16
Produção para consumos permanentes (P_{cp}) (¹)	210,1	251,9	—19,9 (²)

b) Acumulados desde 1 de Janeiro (GWh)

	1960	1961	Variação °/₀
Produção hidráulica (P_h) . . .	2704,1	3018,6	+ 12
Produção térmica (P_t)	43,3	59,6	+ 38
Produção total (P_T)	2747,4	3078,2	+ 12
Exportações (Ex)	—	2,4	—
Importações (I)	—	2,3	—
Produção para consumo não perman. (P_{cnp}) . .	598,7	644,9	+ 8
Produção para consumos permanentes (P_{cp}) (¹)	2148,7	2433,2	+13,2 (²)

NOTAS:

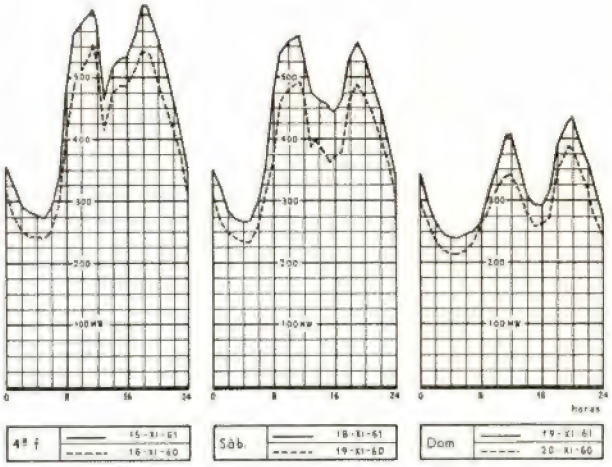
(1) A produção para consumos permanentes (P_{CP}) é determinada pela seguinte expressão: $P_{CP} = P_T - P_{cnp} + 1 - E_X$

(2) O aumento percentual de produção para consumos permanentes, tendo em conta a incidência dos domingos e dias especiais, é respectivamente de 20,1 e 13,9 °/₀.

III — Diagramas de carga dos dias característicos

	4.ª feira: 16-11-960	4.ª feira: 15-11-961
Produção hidráulica (P_h) — MWh	9989	11232
Produção térmica (P_t) — MWh . .	0	970
Produção total (P_T) — MWh . . .	9989	11232
Produção para consumos não permanentes — MWh	2139	1775
Potência máxima MW	553	615,5
Potência mínima MW	237,5	274,0
Utilização da ponta (U) — horas	18,1	18,2
Factor de carga (α)	0,75	0,76
Relação $\frac{\text{Pot. mín.}}{\text{Pot. máx.}}$ (r)	0,43	0,45

NOVEMBRO



IV — Energia armazenada nas principais albufeiras

Albufeiras:	No fim do mês: GWh	No fim do mês: °/₀ (⁴)
Paradela	128,4	57,7
Venda Nova	70,3	54,9
Salamonde	25,8	93,5
Caniçada	19,5	58,9
Cabril :	243,3	71,7
Castelo do Bode	92,7	56,9
Guilhofrei	2,8	33,7
Lagoa Comprida	28,6 (²)	86,1
Santa Luzia	40,9	66,4
Pracana	12,9	100,0
Póvoa	2,8 (³)	22,1
Total . . .	668,0	64,0

Notas:

(¹) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(²) Inclui 3,3 GWh armazenados em Vale do Rossim no fim do mês.

(³) Inclui 0,5 GWh armazenados no açude do Poio no fim do mês.

Tudor

PORTUGAL

A MELHOR

BATERIA

GK 23

Um novo nível de óculo para engenheiro com 3 tipos de precisão

Erros médios por 1 km de nivelamento duplo

± 2,0 mm
Equipamento normal com mira de nivelamento

± 1,2 mm
Recticulo com placa de traço obliquo e mira especial

± 0,5 mm
Com micrómetro óptico e mira de invar de ½ cm

Kern GK 23,
um nivel de engenheiro, para diversos fins,
com vantagens decisivas:
rápida colocação em estação graças à cabeça articulada Kern,
observação do nivel pela ocular do óculo;
focagem expedita e de precisão,
parafuso lateral de fixação.

Kern & Co. S.A. Aarau Suiça

Representantes para Portugal:
E. de Azevedo Campos & Cia., Lda.
Rua Santo António, 137, Porto
Rua Antero de Quental, 17, Lisboa

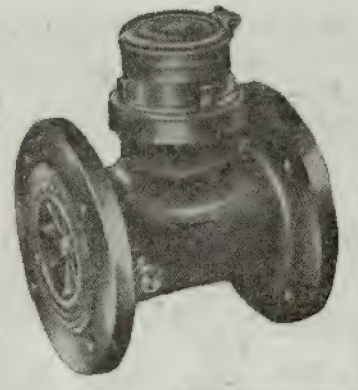
Kern SWISS

AUGUSTO CAVACO
ENGENHEIRO

SONDAGENS
FUNDAÇÕES
CAPTAÇÕES DE ÁGUA
REBAIXAMENTOS
DE NÍVEIS AQUÍFEROS

RUA RODRIGO DA FONSECA, 62 · LISBOA · TELEF. 53873

CONTADORES PARA LÍQUIDOS
Sistema "Woltman"



LG
LANGE

De:
50 m/m
a
300 m/m

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS:

HIDREL
Técnica de Hidráulica e de Electricidade, Ld.ª
47-A RUA DO ALECRIM 47-B
LISBOA

C. D. U. 621.24.001.57

A determinação dos rendimentos nas turbinas hidráulicas com base nos ensaios em modelos reduzidos

PELO ENG.º MECÂNICO I. S. T. ANTÓNIO ALBERTO GONÇALVES FERREIRA
Regente da Cadeira de Turbomáquinas II do I. S. T.

O presente artigo visa fundamentalmente informar os alunos da Cadeira de Turbomáquinas sobre os importantes problemas da previsão e transposição de rendimentos. Julgam-se no entanto de interesse geral os elementos expostos e também por isso se publicam

0 — Introdução

A evolução das potências unitárias das turbinas hidráulicas nos últimos setenta anos (Fig. 1) foi de molde a passarmos da zona das poucas centenas para a zona das centenas de milhares de Cavalos-Vapor (1). É fácil ajuizar que, paralelamente a essa evolução, tanto os fabricantes como os utilizadores de turbinas se devem ter

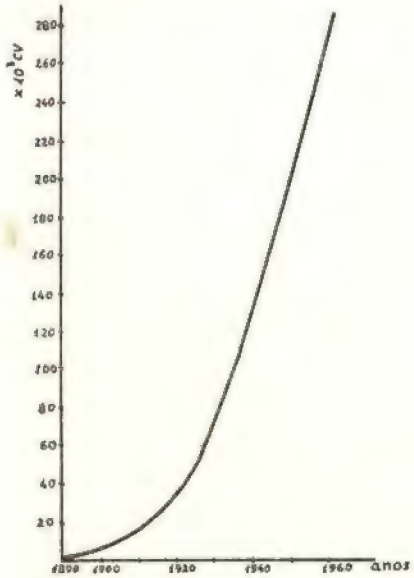


Fig 1 — Curva de crescimento das potências unitárias

grandemente preocupado em desenvolver os métodos directos e indirectos de determinação dos rendimentos das suas máquinas.

Quanto ao utilizador, ele sabe que a boa rentabilidade dos seus aproveitamentos depende em grande parte do bom rendimento das turbinas e assim, acautelará a qualidade das suas máquinas procurando garantir perdas mínimas, quer prevendo multas para punir rendimentos inferiores aos estipulados, quer tomando parte activa na execução de ensaios que lhe garantam o acerto da compra que vai fazer.

Quanto ao fabricante, ele procura enfrentar o dilema de, por um lado, ter de oferecer rendimentos elevados para se sobrepor à concorrência, e, pelo outro, ter de realizar tais valores para cumprir o contratado e não deixar prejudicado o seu bom nome de construtor.

Uma vez que na ordem dos 100.000 CV, uns escassos 0,5 % de quebra no rendimento já representam, ao longo de um ano, milhões de kwh não produzidos, medíocre será pois o construtor que não tenha bases técnicas para garantir com segurança bons rendimentos com apertadas margens de tolerância e inconsciente será o comprador que não saiba assegurar-se do que vai comprar.

Aparece-nos assim, na sombra de todas as aquisições de turbinas já de certa importância, um intenso e imperioso trabalho de pesquisa tendo em vista obterem-se bases seguras para a previsão de rendimentos das turbinas reais a partir de ensaios sobre modelos reduzidos.

Os valores previstos são, sempre que possível, controlados por ensaios directos nas máquinas mas casos há, principalmente tratando-se de aproveitamento de baixa queda onde a medição rigorosa de caudais enormíssimos (por exemplo 200 m^3/s) é francamente problemática, em que os ensaios sobre modelo reduzido representam a única base segura para determinar os rendimentos reais.

(1) Trabalham actualmente turbinas com mais de 300.000 CV de potência unitária.

Parece pois esclarecida, em traços largos, a imperiosa necessidade de se relacionarem os rendimentos das turbinas industriais com as dos seus protótipos laboratoriais ou, o que é o mesmo, o interesse de se obterem relações válidas entre rendimentos de turbinas hidràulicamente semelhantes.

1 — Posição fundamental do problema

O mais antigo e vulgarizado índice de comparação de turbinas semelhantes é o número de rotações específico $n_s = \frac{n}{H} \cdot \frac{\sqrt{N}}{\sqrt[4]{H}}$ que representa o número de rotações por minuto que dará a roda da turbina T_s (Q_s, 1, 1, n_s) (1) semelhante à turbina comparada T (Q, H, N, n).

Dizia-se portanto, e muita gente o diz ainda hoje, que duas turbinas com o mesmo n_s eram semelhantes. Na realidade assim não acontece pois as turbinas T e T_s podem não ser semelhantes como vamos demonstrar, ou, o que é o mesmo, turbinas semelhantes têm normalmente números de rotações específicos diferentes.

Escrevendo a expressão de n_s sob a forma $n_s = n_1 \sqrt{N_1}$ podemos chamar a $n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}}$ velocidade reduzida e a $N_1 = \frac{N}{\sqrt{H^3}}$ potência reduzida (2) pois $\frac{n_1}{n} = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{H}}$ e $\frac{N_1}{N} = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{H^3}}$ são evidentes relações de semelhança hidráulica dentro da hipótese simplificadora de serem iguais os rendimentos das respectivas turbinas T (Q, H, N, n) e T_1 (Q_1, 1, N_1, n_1).

Logo, $\frac{n_s}{n} = \frac{1}{\sqrt{H}} \cdot \sqrt{\frac{N}{\sqrt{H}}}$ só será também uma relação de semelhança hidráulica das turbinas T (Q, H, N, n) e Ts (Qs, 1, 1, ns) admitida a mesma hipótese de igualdade dos rendimentos η_h e η_{hs}, o que òbviamente nunca se verifica pois a turbina real, de maiores dimensões, tem condições hidráulicas mais favoráveis do que a turbina modelo dada a menor influência relativa dos contornos e dimensões da roda.

Vamos deduzir então a relação entre o número de rotações específico da turbina real Tr (Qr, Hr, Nr, nr) e o da respectiva turbina modelo Tm (Qm, Hm, Nm, nm).

Para tanto, considerando as turbinas funcionando na zona dos caudais normais (Fig. 2) em que as projecções das velocidades absolutas da água sobre a direcção das velocidades periféricas de rotação, são pràticamente nulas, temos a equação de Euler, $U_1 Cu_1 - U_2 Cu_2 = \eta_h g H$, sob a seguinte forma para cada uma das turbinas: $U_{1m} Cu_{1m} = \eta_{hm} g H_m$ e $U_{1r} Cu_{1r} = \eta_{hr} g H_r$ ou, dividindo ordenadamente

$$\frac{U_{1m}}{U_{1r}} \cdot \frac{Cu_{1m}}{Cu_{1r}} = \frac{\eta_{hm}}{\eta_{hr}} \cdot \frac{H_m}{H_r}$$

Como geomètricamente se depreende dos diagramas da Fig. 2 que, $\frac{Cu_{1m}}{Cu_{1r}} = \frac{U_{1m}}{U_{1r}}$ virá $\frac{U^2_{1m}}{U^2_{1r}} = \frac{\eta_{hm}}{\eta_{hr}} \cdot \frac{H_m}{H_r}$ ou $\frac{U_{1m}}{U_{1r}} = \frac{\sqrt{\eta_{hm}}}{\sqrt{\eta_{hr}}} \cdot \frac{\sqrt{H_m}}{\sqrt{H_r}}$ e, por serem as velocidades periféricas proporcionais aos respectivos números de rotações por minuto

$$\frac{n_m}{n_r} = \frac{\sqrt{\eta_{hm}}}{\sqrt{\eta_{hr}}} \cdot \frac{\sqrt{H_m}}{\sqrt{H_r}}$$

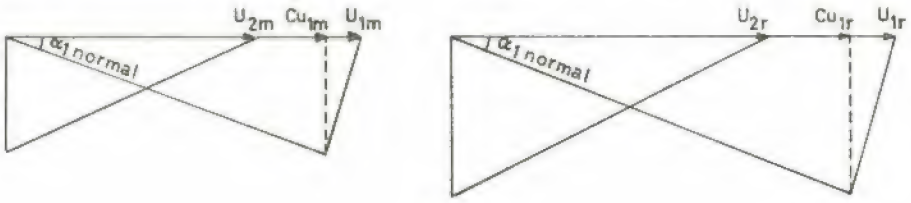


Fig. 2

(1) Representa-se por T_s (Q_s, 1, 1, n_s) a turbina que engole um caudal Q_s (m^3/s) sob a queda de H = 1 m e produz a potência de N = 1 CV a n_s r. p. m. Semelhantemente se compreende para a turbina T (Q, H, N, n).

(2) Esta nomenclatura de valores reduzidos é introduzida pelo autor como a mais simples maneira de definir a turbina T_1 (Q_1, 1, N_1, n_1) semelhante à turbina T (Q, H, N, n) e trabalhando sob a queda de H = 1 m.

Se passarmos para velocidades específicas, $N_m = N_r = 1$ CV e $H_m = H_r = 1$ m teremos finalmente:

$$\frac{(n_s)_m}{(n_s)_r} = \frac{\sqrt{\eta_{hm}}}{\sqrt{\eta_{hr}}}$$

Esta expressão representa, na realidade, que os números de rotações específicos de duas turbinas geomètricamente semelhantes são diferentes e, como os rendimentos das turbinas real e modelo chegam a diferir de 10 % teremos, admitindo por exemplo $\eta_{hr} = 0{,}91$ e $(n_s)_r = 300$ r.p.m.

$$(n_s)_m = 300\sqrt{\frac{0{,}81}{0{,}91}} = 283 \text{ r.p.m.} \quad \text{i . e',}$$

o modelo deve ser ensaiado com um número de rotações específico 6 % mais baixo que o real.

Há pois que ter bem presente a influência das dimensões das turbinas na previsão dos rendimentos e na escolha dos caudais e número de rotações para ensaio em modelo reduzido.

A hipótese simplificadora da igualdade de rendimentos, e portanto da igualdade de velocidades específicas, considera em última análise, despresável a acção da viscosidade o que só é aceitável em turbinas suficientemente grandes para que as forças da viscosidade sejam muito pequenas em relação às forças de inércia do sistema.

2 — Influência da viscosidade

Do anterior se depreende terem turbinas geomètricamente semelhantes rendimentos diferentes e daí, em boa verdade, não as devermos considerar como hidràulicamente semelhantes.

Esta noção de semelhança hidráulica só deverá aplicar-se quando a relação

$$\frac{F_i}{F_v} = K \cdot \frac{\rho V^2}{\mu\left(\frac{V}{D}\right)} = K \cdot \frac{VD}{\upsilon}$$

em que

F_i — Forças de inércia
F_v — Forças de viscosidade
V — Velocidade de passagem do fluido
D — Dimensão linear característica
$\upsilon = \frac{\mu}{\rho}$ — Viscosidade cinemática,

for constante para as duas turbinas o que arrasta agora serem os rendimentos hidráulicos iguais.

Repare-se que esta relação define as origens do número de Reynolds como interpretativo do tipo de escoamento e assim, como critério restritivo da aplicação das leis da semelhança hidráulica aparece a necessidade de se verificar $R_e = \frac{VD}{\upsilon}$ = constante, para secções correspondentes das turbinas comparadas.

O valor de R_e será obtido para uma definida secção pois ele variará normalmente da entrada para a saída das rodas. Utilizam-se mais frequentemente as secções de entrada ou de saída uma vez que é para elas que também se determinam os diagramas de velocidades.

Para maior precisão, anote-se ainda que pela variação do número de rotações de uma mesma turbina, R_e variará e portanto deixará de haver semelhança hidráulica, para a mesma roda, desde que a sua velocidade varie.

Se, num caso extremo, e para simplificar a obtenção de resultados, admitirmos que as perdas hidráulicas são apenas devidas ao atrito, poderemos escrever

$$\frac{F_i}{F_v} = \frac{\eta_h}{1-\eta_h} = K \cdot R_e$$

donde

$$K = \frac{\eta_h}{R_e\,(1-\eta_h)}$$

Para n_1 r.p.m. $\quad K = \frac{\eta_{h_1}}{R_{e_1}\,(1-\eta_{h_1})}$

e para n_2 r.p.m. $\quad K = \frac{\eta_{h_2}}{R_{e_2}\,(1-\eta_{h_2})}$

Se a velocidade n_1 baixar de 50 % i . e' $n_2 = 0{,}50\ n_1$ será $R_{e_2} = 0{,}5\ R_{e_1}$

e, se admitirmos $\eta_{h_1} = 0{,}90$ teremos

$$K = \frac{0{,}90}{0{,}1} = \frac{\eta_{h_2}}{0{,}5\,(1-\eta_{h_2})}$$

donde resulta que η_{h_2} passou para 81,8 %.

Como se poderá verificar estas variações são ainda maiores se η_{h_1} não for tão elevado.

Este abaixamento do rendimento verifica-se na prática se bem que menos acentuado uma vez que o atrito não desempenha papel tão importante nas perdas das turbinas e bombas hi-

dráulicas. Todavia quando trabalhamos com líquidos muito viscosos a variação dos rendimentos é naturalmente mais adequada ao que se deduziu.

3 — Efeitos de escala

Uma vez que as perdas em turbinas semelhantes, na zona de funcionamento normal, i. é, sem velocidades de choque, se podem referir em função do número de Reynolds podemos escrever para as turbinas T_r real e T_m modelo,

$$\frac{1-\eta_{h_r}}{1-\eta_{h_m}} = \frac{f(R_{e_r})}{f(R_{e_m})}$$

donde

$$1-\eta_{h_r} = (1-\eta_{h_m}) \cdot \frac{f(R_{e_r})}{f(R_{e_m})}$$

Estabelecida a forma da função $f(R_{e_r})$ temos imediatamente o processo de obter o rendimento da turbina real T_r a partir do rendimento da turbina modelo T_m.

O efeito de escala tem sido abordado por muitos autores à frente dos quais pomos, em nossa opinião, Moody e Ackeret.

Das interpretações dadas à função $f(R_e)$ resultam várias fórmulas práticas que adiante se apontam.

Procurando materializar uma delas, vamos considerar as perdas hidráulicas como representadas por $H_z = f(R_e) \cdot C^2$ sendo C a velocidade absoluta de escoamento e $f(R_e) = \frac{K}{\sqrt[4]{R_e}}$ como por exemplo aparece na fórmula de BLASIUS para um fluido escoando-se num tubo $\left(H_z = 0{,}316 \frac{l}{d} \cdot \frac{1}{2g} \frac{C^2}{\sqrt[4]{R_e}}\right)$.

Então

$$\frac{1-\eta_{h_r}}{1-\eta_{h_m}} = \frac{\sqrt[4]{\frac{1}{R_{e_r}}}}{\sqrt[4]{\frac{1}{R_{e_m}}}} \text{ ou } \frac{1-\eta_{h_r}}{1-\eta_{h_m}} = \frac{\sqrt[4]{R_{e_m}}}{\sqrt[4]{e_r}}$$

Como

$$R_e = \frac{CD}{\upsilon} = k' \cdot \frac{D\sqrt{H}}{\upsilon} \text{ pois } C = \varphi\sqrt{2gH}$$

teremos

$$\frac{1-\eta_{h_r}}{1-\eta_{h_m}} = \frac{\sqrt[4]{D_m \sqrt{H_m}}}{\sqrt[4]{D_r \sqrt{H_r}}}$$

ou

$$1-\eta_{h_r} = (1-\eta_{h_m}) \cdot \sqrt[4]{\frac{D_m}{D_r}} \cdot \sqrt[8]{\frac{H_m}{H_r}}$$

Conhecendo pois a escala dos modelos $\frac{D_m}{D_r} = E$ e a relação das alturas de ensaio laboratorial e real podemos prever o rendimento real a partir do rendimento do modelo ensaiado.

Como circunstância feliz para os construtores, uma vez que $E < 1$ e $\frac{H_m}{H_r} < 1$ vem sempre $\eta_{h_r} > \eta_{h_m}$ isto é, obtido um rendimento no modelo o rendimento equivalente na turbina real será maior e assim com mais segurança se podem garantir valores.

O conjunto das fórmulas vulgarmente utilizadas pode, como a deduzida anteriormente enquadrar-se dentro de expressões gerais da forma

$$1-\eta_{h_r} = (1-\eta_{h_m}) \left(\frac{D_m}{D_r}\right)^x \cdot \left(\frac{H_m}{H_r}\right)^y$$

ou da forma

$$1-\eta_{h_r} = (1-\eta_{h_m}) \left[K + K' \left(\frac{D_m}{D_r}\right)^x \left(\frac{H_m}{H_r}\right)^y\right]$$

Temos assim como mais conhecidas

— Formula de Moody

$$1-\eta_{h_r} = (1-\eta_{h_m}) \left(\frac{D_m}{D_r}\right)^{0{,}25} \cdot \left(\frac{H_m}{H_r}\right)^{0{,}01}$$

— Formula de Ackeret

$$1-\eta_{h_r} (1-\eta_{h_m}) \cdot \left[0{,}5 + 0{,}5 \cdot \left(\frac{D_m}{D_r}\right)^{0{,}2} \cdot \left(\frac{H_m}{H_r}\right)^{0{,}1}\right]$$

— Formula de Canaan

$$1-\eta_{h_r} = (1-\eta_{h_m}) \left[0{,}5 + 0{,}5 \cdot \left(\frac{D_m}{D_r}\right)^{0{,}25} \cdot \left(\frac{H_m}{H_r}\right)^{0{,}125}\right]$$

Considerando por exemplo, o modelo reduzido de uma turbina e condições de ensaio tais que

$\frac{D_m}{D_r} = 0{,}1$ e $\frac{H_m}{H_r} = 0{,}1$ teremos para os rendimentos no modelo de 0,80, 0,85 e 0,90 os seguintes valores previstos pelas formulas para rendimentos reais.

Rendimento no modelo	0,80	0,85	0,90
Rendimento real segundo as fórmulas de:			
MOODY	0,887	0,915	0,943
ACKERET.	0,850	0,888	0,995
CANAAN	0,858	0,893	0,930
Formula deduzida no texto	0,917	0,937	0,958

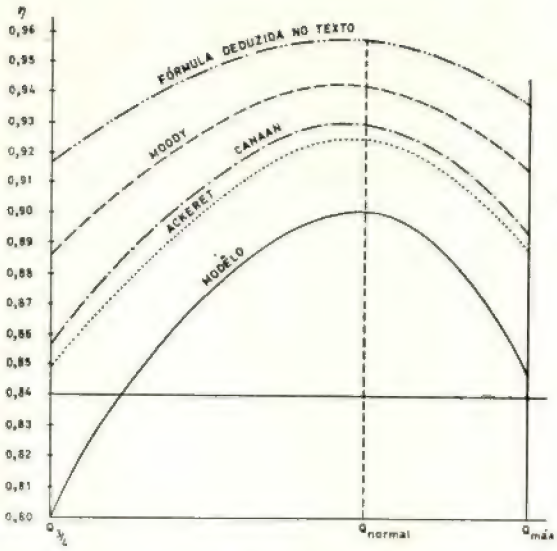


Fig. 3

Temos pois as curvas de rendimentos da figura 3 onde se verifica o extremo optimismo da fórmula deduzida no texto e mesmo da de MOODY.

Acentua-se portanto a necessidade de uma normalização de forma a que os construtores adoptem uma fórmula única tornando homogénea a previsão de rendimentos até agora um pouco ao sabor da maior ou menor experiência de cada laboratório e ensaiador.

Anotação ao artigo «A situação da Banca privada portuguesa na actual conjuntura»

Como as curvas (O D) e (O_1 A′ C D) da fig. 10 são curvas de «valores totais», os lucros ou prejuízos globais encontram-se nela representados não por áreas de rectângulos como a de (a b c d) mas por segmentos tais como $\overline{ab}$, o que, aliás, em nada altera as conclusões que se tiraram da esquematização que se procurou traduzir na referida figura.

De facto, segmentos como $\overline{ab}$ só representariam valores unitários se se tivessem considerado as curvas de custos médios e marginais e de receita média.

Muito embora o lapso cometido seja evidente, aqui se deixa a devida rectificação, com os agradecimentos ao Exmo Sr. Prof. Jacinto Nunes que teve a amabilidade de me chamar a atenção para ele.

Daniel Barbosa

COLÓQUIO SOBRE TERRA COZIDA

A Associação Nacional Italiana dos Industriais de terra cozida (ANDIL) foi encarregada pelo RILEM de organizar em Itália um Colóquio sobre terra cozida em 1962. Este Colóquio realizar-se-á em Milão, segundo o programa abaixo reproduzido nas linhas gerais.

Fins do Colóquio

As construções de terra cozida, constituíram objecto de investigações particulares, que conduziram a novos tipos de elementos de construção e a soluções estruturais de grande interesse. Estes progressos foram conseguidos graças a um desenvolvimento considerável das investigações levadas a cabo, tanto no domínio teórico e experimental, como no domínio das aplicações.

Entretanto, é certo que os conhecimentos das possibilidades de utilização dos materiais de terra cozida não atingiram o mesmo nível em todos os países. Basta assinalar a diferença do grau de desenvolvimento que têm actualmente as estruturas, as placas ou as coberturas em tijolo nas diversas regiões da Europa.

Parece, pois, que uma troca de informações mais activa entre os especialistas à escala internacional seja actualmente desejável. No próximo Colóquio, o RILEM propõe-se precisamente ser um primeiro lugar de encontro dos investigadores e técnicos dos diferentes países, que poderão assim trocar entre si impressões sobre as suas experiências e ideias, e encontrar também, novas orientações para as investigações futuras.

TEMA GERAL: «INVESTIGAÇÕES E ENSAIOS SOBRE ESTRUTURAS DE TERRA COZIDA»

Nas suas linhas o tema geral será subdividido do seguinte modo:

1) Investigações e ensaios referentes às características mecânicas da terra cozida.
2) Investigações e ensaios referentes ao emprego do tijolo nas abóbodas e nas estruturas submetidas à compressão excêntrica e à flexão composta.
4) Problemas especiais.

Cada assunto particular será tratado por um Relator Geral.

Envio das Comunicações

Cada participante no Simpósio poderá enviar uma ou várias memórias, cada uma das quais se deverá referir a uma só das questões acima indicadas. O autor da memória deverá indicar o tema a que a sua comunicação se refere. As memórias deverão tratar dos ensaios e pesquisas sobre as características dos materiais, ou sobre os métodos de controle das construções de tijolos.

Cada memória deverá ser precedida de um resumo de 20 a 30 linhas dactilografadas. As memórias deverão ser redigidas numa das línguas oficiais do RILEM (francês-inglês).

O resumo das memórias assim como a correspondência deverá ser transmitido à ANDIL, Via Cavone, 71 — ROMA. O resumo assim como a memória deverão ser apresentados em três exemplares. O texto das memórias deverá ser transmitido à ANDIL, antes de 15 de Janeiro de 1962.

As memórias serão impressas e os participantes receberão as provas cerca de um mês antes da manifestação.

Programa provisório

2.ª feira, 25 de Junho
De manhã — Abertura do Colóquio e começo dos trabalhos
— Discussão do tema 1)
De tarde — Visita a uma fábrica de produtos de terra cozida.

3.ª feira, 26 de Junho
De manhã — Discussão do tema 2)
De tarde — Discussão do tema 3)

4.ª feira, 27 de Junho
De manhã — Discussão do tema 4)
De tarde — Visita facultativa a locais de construção
À noite — Jantar oficial

5.ª feira, 28 de Junho
De manhã — Sessão de clausura.

Depois da sessão, partida para uma excursão facultativa, com pequeno almoço.

Inscrição

As inscrições são feitas por intermédio do L. N. E. C.

CENTRO DE PROJECTOS

COLOCA A SUA EXPERIÊNCIA AO SERVIÇO DA INDÚSTRIA NACIONAL

NOVA FABRICA DE A TABAQUEIRA

COM SECTORES ESPECIALIZADOS DE

- ENGENHARIA CIVIL E ARQUITECTURA INDUSTRIAL
- ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE INSTRUMENTAÇÃO
- ENGENHARIA MECÂNICA
- ENGENHARIA QUÍMICA

OFICINA DE MODELOS REDUZIDOS

PROJECTO	*REMODELAÇÃO*	*ASSISTÊNCIA*
DE NOVAS UNIDADES	DE FÁBRICAS	NA AQUISIÇÃO DE EQUIPAMENTO
DESDE OS **ESTUDOS PRELIMINARES**	COM VISTA A **MELHORIA DE RENDIMENTO**	ACTUANDO COMO **CONSULTOR**
AO **ARRANQUE DA INSTALAÇÃO**	**AUMENTO DE CAPACIDADE**	**INSPECTOR**

O CONJUNTO DE TÉCNICOS DE QUE DISPÕE, O APOIO DA LONGA EXPERIÊNCIA INDUSTRIAL DA COMPANHIA UNIÃO FABRIL NOS VÁRIOS RAMOS DA INDÚSTRIA E AINDA A COLABORAÇÃO COM FIRMAS ESTRANGEIRAS GARANTEM A QUALIDADE DAS REALIZAÇÕES QUE LHE FOREM ENTREGUES

EXPONHA OS SEUS PROBLEMAS E DIRIJA AS SUAS CONSULTAS A **CENTRO DE PROJECTOS CUF**

AV. 24 DE JULHO, 170 TELEF. 67 20 61
LISBOA - PORTUGAL TELEG. PROFABRIL

CP-1

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS

SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 93
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

FELTROS, FILTROS E TECIDOS INDUSTRIAIS PARA TODOS OS FINS:

EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS,
DE QUALQUER FIBRA

PASTA PARA PAPEL
PAPEL
FIBROCIMENTO
CURTUMES
FIAÇÕES DE ALGODÃO
LINHAS
INDÚSTRIAS QUÍMICAS

TECELAGENS
ACABAMENTOS
TINTURARIAS
LAVANDARIAS
ESTAMPARIAS
FILTROS
DESPOEIRAGEM

FLUIDO E MASTIC

IMPERMEABILIZAÇÕES

TORNA TUDO ESTANQUE

Impermeabilização e vedação perfeita de:

Terraços, Empenas, Algerozes, Clarabóias,
Paredes húmidas, Coberturas, Fendas,
Juntas de dilatação, etc., etc.

Fácil aplicação — Elasticidade excepcional
Não endurece nem apodrece

ROOFATEX **À base de borracha + alumínio**

Reforça a acção impermeabilizante do «Rubio», dando às construções um aspecto agradável — Protege todos os materiais contra a humidade, a ferrugem e a corrosão

RUBIO E ROOFATEX dois produtos que se completam

Representante Exclusivo: *Orlando Fernandes*

Rua Palmira, 46-A-B-C — LISBOA-1 — Telefs. 83 01 63 - 84 26 39 — End. teleg. «ORFER»

C. D. U. 627.82.08.25

MEDIÇÃO DE EXTENSÕES EM BARRAGENS DE BETÃO

J. LAGINHA SERAFIM
Investigador, Chefe do Serviço de Barragens
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

1. — INTRODUÇÃO

A análise dos critérios presentemente adoptados no cálculo de barragens e o controle da segurança destas estruturas só podem ser perfeitamente realizados se for possível medir as tensões máximas instaladas no betão e nas fundações. Segue-se daqui que tais medições deverão ser realizadas com continuidade ao longo da vida das barragens e, ao mesmo tempo, levantam-se problemas tais como a escolha da localização e do número de pontos a observar. O problema da medição directa das tensões num ponto não encontrou ainda solução prática completamente aceitável. Embora existam aparelhos que permitem obter satisfatòriamente valores das tensões normais de compressão (1) não é possível medir o valor de todas as componentes que dão o estado de tensão num ponto, qualquer que ele seja. Nestas condições, o método que continua parecendo mais satisfatório para a resolução do problema da determinação do estado de tensão consiste na medição das extensões num ponto em várias direcções, as quais podem, por sua vez, ser convertidas em tensões através do conhecimento das propriedades mecânicas do betão. Os primeiros resultados obtidos por este método referem-se à medição de tensões nas barragens entre épocas pouco afastadas, entre as quais se produziram apreciáveis variações das solicitações. Recentemente, com o conhecimento das propriedades elásticas e anelásticas do betão, tem sido possível determinar as tensões instaladas nas barragens desde o início da sua construção, o que mostra a possibilidade de utilização deste método na determinação sistemática de tensões.

O presente trabalho dá conta das técnicas e dos métodos seguidos na medição de tensões nas barragens portuguesas.

(1) — Tradução de um trabalho apresentado ao Simpósio sobre Observação de Obras realizado em Lisboa em 1955.

2. — MEDIÇÃO DE TENSÕES NOS PARAMENTOS E NO INTERIOR

O processo mais simples e económico inicialmente usado para a medição de tensões nas barragens consistia em instalar nos paramentos bases para elongâmetro onde se faziam as leituras (2). Estas bases eram, geralmente, colocadas nos vértices dum octógono sendo assim possível realizar as medições de extensões em quatro direcções perpendiculares. Este processo não permitiu obter resultados satisfatórios pelo que teve de ser abandonado.

Na observação da ensecadeira de montante de Castelo do Bode (3) — a primeira construção a ser observada sistemàticamente pelo LNEC — colocaram-se bases para elongâmetro em dois pontos do paramento de jusante e foram feitas leituras sucessivas com um aparelho desse tipo durante o enchimento da albufeira. O diagrama das extensões medidas (fig. 1) mostra claramente que estes valores são fortemente influenciados pelas variações de temperatura do ar e não mostram qualquer efeito do enchimento da albufeira. Só a existência de uma rede de fissuras junto ao paramento de jusante pode explicar o facto.

Na observação da barragem do Alto Ceira foram medidas extensões nos paramentos com a finalidade de determinar as tensões na estrutura. Foram colocados, no paramento de jusante (fig. 2), extensómetros de corda vibrante em quatro direcções fixados por meio de suportes, e no paramento de montante, extensómetros Télémac também ligados por meio de suportes de fixação ao paramento. Dado que, quando a albufeira estava cheia, esses extensómetros ficavam debaixo de água tomaram-se disposições para equilibrar a pressão interior do ar com a exterior. Da observação dos extensómetros acústicos colocados no paramento de jusante não foi possível obter resultados dignos de confiança ainda que tivessem sido protegidos das radiações solares por meio duma cobertura de madeira e cortiça. No paramento de montante

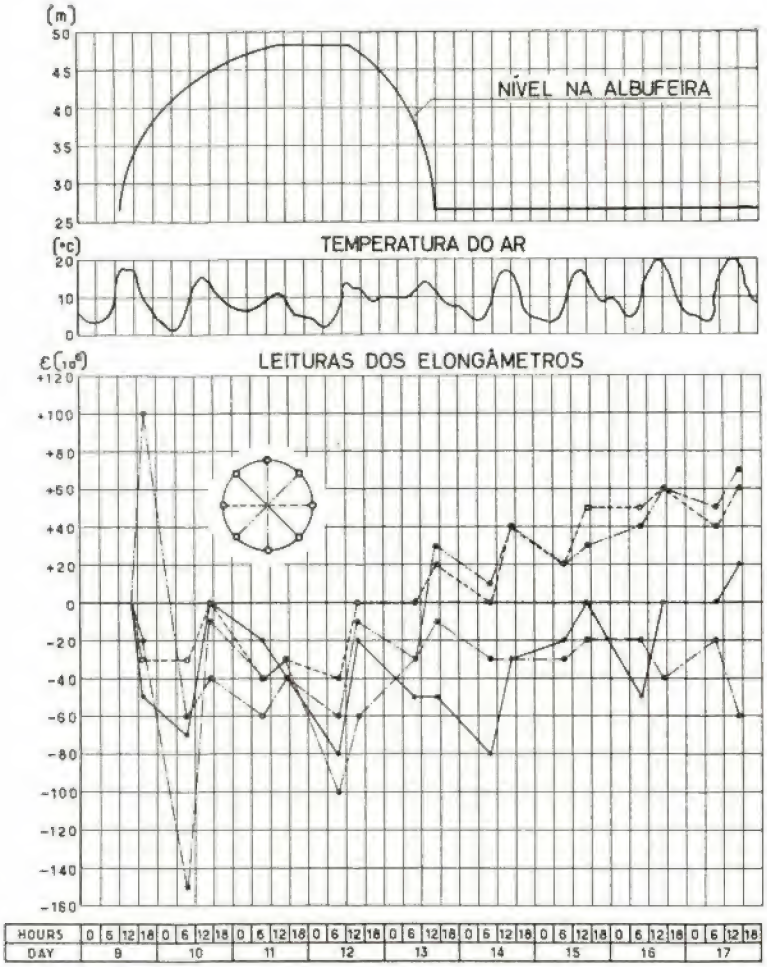


Fig. 1 — Diagrama de extensões obtidas com elongâmetro no paramento de jusante da ensecadeira de Castelo do Bode

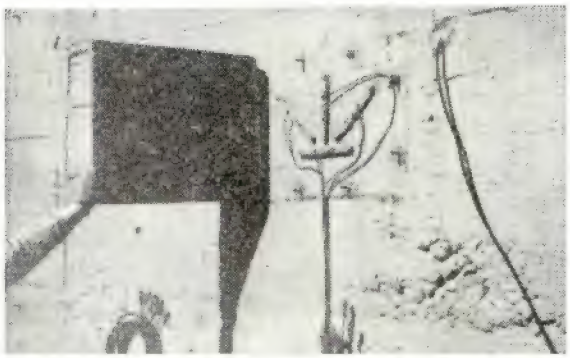


Fig. 2 — Extensómetros acústicos no paramento da barragem do Alto Ceira

as leituras foram mais razoáveis embora não totalmente satisfatórias. A conclusão que foi possível tirar destas observações é que, poucos anos após a construção, o betão dos paramentos da barragem fendeu junto à superfície, devido a variações severas de temperaturas e de humidade, até profundidades que serão, provàvelmente, maiores do que o comprimento dos extensómetros (20 cm).

As primeiras tentativas para medir extensões no interior das barragens por meio de instrumentos embebidos no betão durante a construção foram feitas há trinta anos. Embora essas primeiras medições não tenham sido coroadas de êxito completo, há hoje vários tipos de extensómetros por meio dos quais é possível obter bons resultados. Esta técnica de medições ainda tem certas dificuldades como mais adiante se verá. Uma dificuldade que desde já pode ser mencionada refere-se à necessidade da determinação das variações de volume sofridas pelo betão na vizinhança de cada aparelho, a fim de poder determinar as tensões a partir das extensões. Tal difi-

culdade tem sido superada pela colocação de um extensómetro (conhecido como extensómetro corrector) embebido no betão da obra mas livre do campo de tensões, sendo esse aparelho colocado próximo de cada extensómetro ou grupo de extensómetros.

A necessidade de medir as tensões máximas torna necessário colocar os extensómetros tão perto dos paramentos quanto possível. Nas barragens portuguesas estes aparelhos tem sido colocados à distância de 1 metro dos paramentos ou, quando a barragem é delgada, a 0,5 m.

3 — TIPOS DE EXTENSÓMETROS

Na medição das extensões das barragens portuguesas têm sido utilizados dois tipos de extensómetros: extensómetros de corda vibrante e

Fig. 3 — Extensómetros Télemac

extensómetros de resistência eléctrica. Entre os extensómetros de corda vibrante usados salientam-se os seguintes: Télémac [4] (França) (fig. 3), Galileo [5] (Itália) (fig. 4) e LNEC (Portugal) (fig. 5). Os extensómetros de resistência eléctrica usados (fig. 6) são do tipo Carlson [6] (U. S. A.). A descrição destes aparelhos pode ser encontrada em várias publicações e a sua comparação foi já feita noutra publicação [7].

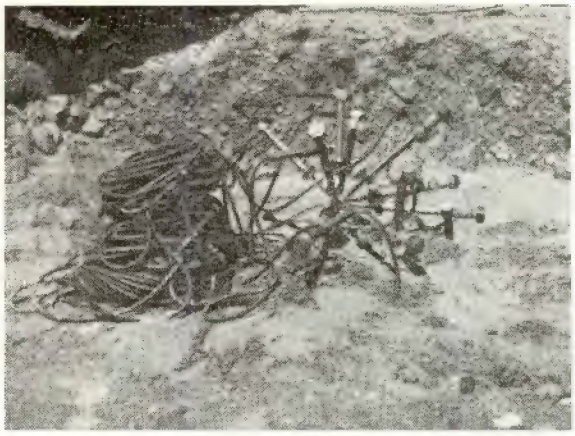


Fig. 4 — Extensómetros Galileo

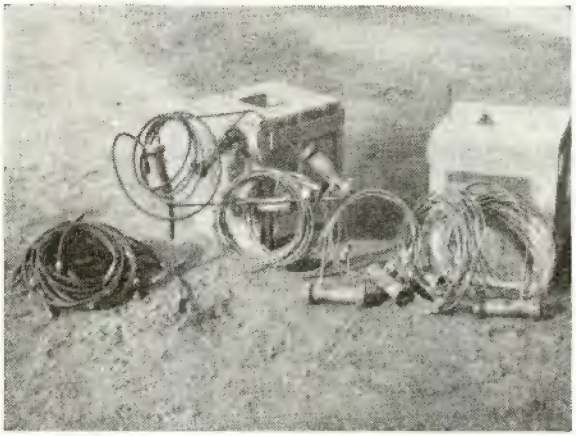


Fig. 5 — Extensómetros LNEC

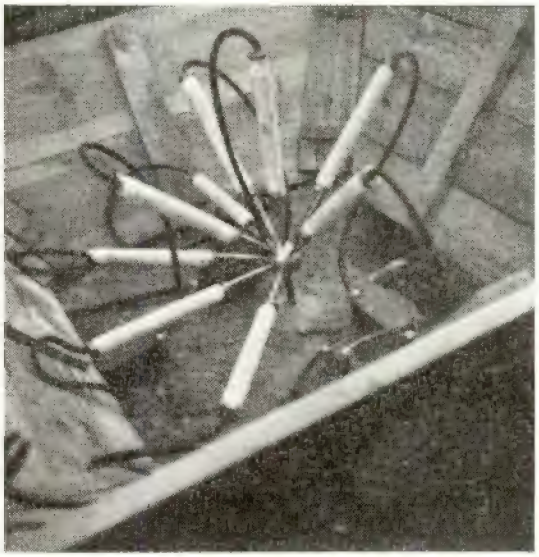


Fig. 6 — Extensómetros Carlson

Da experiência obtida é possível estabecer as características que deve possuir um extensómetro, a fim de poder ser utilizado no interior do betão em observações a longo prazo:

a) *Durabilidade* — As diversas partes do aparelho devem resistir ao ataque químico do cimento ou da água, e este deve manter a sua impermeabilidade por muitos anos, isto é, deve ser estanque à penetração da água ou humidade no interior da caixa que contém os órgãos de medição mesmo para pressões exteriores de 20 ou 30 kg cm^{-2}. Para isso tanto o fuste do aparelho como o bussim de entrada do cabo devem ser completamente impermeáveis.

b) *Fidelidade* — As leituras fornecidas pelo aparelho devem ser as mesmas sempre que ele recupere, exactamente, o comprimento inicial. Isto obriga a que se não produzam relaxações, corrosões, etc., nos orgãos de medição. A fim de evitar a corrosão, a caixa do aparelho deve estar cheia com um líquido ou um gás que não ataque os órgãos de medição.

c) *Rigidez longitudinal nula* — O aparelho deve seguir fielmente todas as variações de comprimento do betão, sem introduziz nele qualquer tensão, desde o início da colocação do betão à sua volta.

d) *Grande robustez e rigidez transversal* — O aparelho deve estar apto a suportar choques e acções laterais, que são inevitáveis durante a instalação.

e) *Grande sensibilidade e precisão* — Em face dos elevados módulos de elasticidade do betão, o extensómetro deve ser capaz de registar variações de extensões de 10^{-6}. Para tal parece aconselhável, a fim de aumentar a sensibilidade e precisão, que o aparelho possua dois elementos de medida, um que diminua e outro que aumente de comprimento quando é submetido a uma extensão de tracção.

f) *Extensa amplitude de leituras* — É indispensável que os instrumentos registem extensões até 1500×10^{-6} em ambas as direcções. Dentro deste campo de medida, o diagrama das leituras em função da variação de comprimento deve ser linear.

g) *Grande comprimento* — A fim de evitar a necessidade de eliminação dos inertes de betão de grandes dimensões à volta do aparelho, convém que este possua um comprimento 2,5 a 3 vezes a maior dimensão do inerte.

h) *Pequeno diâmetro* — Como o aparelho não deve possuir rigidez, não deve introduzir grandes vazios no betão, a fim de não perturbar o estado de tensão.

i) *Funcionar como um termómetro exacto* — Tendo em vista a necessidade do conhecimento da temperatura para o cálculo das extensões medidas e a grande influência da temperatura na avaliação das próprias extensões, a medição da temperatura feita com o extensómetro deve ser muito exacta. Contudo, as leituras não devem necessitar de grandes correcções devido ao efeito da temperatura nos elementos sensíveis ou seus suportes.

Os extensómetros Télémac, Carlson e Galileo usados em Portugal possuem a maior parte destas características mas o primeiro apresenta, sobretudo, a desvantagem de possuir grande rigidez longitudinal.

4 — COLOCAÇÃO DE EXTENSÓMETROS

No quadro I indica-se o número de pontos em que estão colocados extensómetros, o número de extensómetros correctores e o número total de extensómetros para as várias barragens portuguesas em observação.

Este quadro mostra que nas primeiras barragens foram colocados extensómetros em muitos pontos, enquanto que, recentemente, se tem preferido escolher um menor número de pontos a observar, colocando-se em cada ponto um maior número de extensómetros. Este procedimento foi ditado pela necessidade de confirmar, mais rigorosamente, as medições em cada ponto e de instalar um extensómetro corrector por cada grupo. Inicialmente eram escolhidos exclusivamente pontos próximo dos paramentos, entretanto o interesse em conhecer o estado de tensão no interior devido ao arrefecimento do betão levou à colocação de alguns grupos de extensómetros no interior da massa. O número de pontos escolhidos para observação e o número de extensómetros colocados em cada ponto deve ser cuidadosamente considerado para que, assim, o trabalho de observação não resulte demasiado extenso e dispendioso, não deixando, todavia, de se observar todos os pontos importantes. A escolha destes pontos deve ser sempre baseada nos resultados do estudo de modelos, ou de cálculos, devendo ser escolhidas as regiões de tensões máximas

QUADRO I

Barragens	N.º de extensómetros	N.º de extensómetros correctores	Total	Pontos próximo do paramento de jusante	Pontos próximo do paramento de montante	Extensómetros avariados
Ensecadeira de Castelo do Bode	16	4	40	8	8	4
Castelo do Bode	67	13	164	34	25	9
Venda Nova	73	12	181	17	17	15
Pracana	18	6	50	5	5	2
Alto Ceira	22	8	60	11	11	—
Salamonde	19	19	140	8	8	16
Cabril	30	31	189	12	10	0
Caniçada	26	26	184	11	11	1
Bouçã	32	39	179	13	13	1

tais como o fecho e os encontros dos arcos, a base da consola central, duas ou mais consolas laterais e alguns pontos no coroamento. Os pontos no interior são geralmente aqueles que ficam a meia espessura na consola central. A fig. 7 mostra a posição dos grupos de extensómetros colocados nas barragens portuguesas já observadas ou ainda em observação.

Para grupos colocados junto aos paramentos, pode-se afirmar que as duas tensões principais existem num plano paralelo ao paramento, a terceira tensão principal é muito pequena ou igual a zero e assim o campo de tensões para estes pontos pode ser considerado plano. Tendo presente estas considerações, parece suficiente colocar três extensómetros em três direcções neste plano para que assim seja possível determinar o estado de tensão no ponto. Na primeira estrutura observada (ensecadeira de Castelo do Bode), foram colocados três extensómetros em cada ponto formando uma roseta de 60°. Entretanto, com o desejo de compatibilizar as leituras, foi, em obras seguintes, adicionado um quarto extensómetro colocado no mesmo plano e formando uma roseta a 45°. Em alguns casos, era ainda aplicado um outro extensómetro normal ao plano dos outros quatro e, portanto, ao paramento da barragem. Nas últimas barragens observadas já foram colocados dois extensómetros numa direcção muito próxima da possível direcção da extensão principal, por exemplo a horizontal para pontos no fecho do arco (fig. 8). Assim obter-se-à não só uma duplicação das leituras segundo a direcção mais importante mas também elas se poderão verificar por comparação das somas de extensões dadas por extensómetros perpendiculares, isto é:

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \varepsilon_3 + \varepsilon_4 \qquad (1)$$

Quanto aos grupos no interior do betão, têm sido colocados nove extensómetros segundo as três faces de um tetraedro trirectangulo (fig. 9). Os três extensómetros superabundandes (só são necessários seis para ser medido um estado de tensão tridimensional) permitem compatibilizar as leituras. Como há quatro grupos de três extensómetros normais entre si devem verificar-se as seguintes igualdades:

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = \varepsilon_1 + \varepsilon_4 + \varepsilon_5 = \\ = \varepsilon_2 + \varepsilon_6 + \varepsilon_7 = \varepsilon_3 + \varepsilon_8 + \varepsilon_9 \qquad (2)$$

Qualquer destes dois tipos de grupos permitem que as leituras sejam, portanto, utilizadas mesmo que se avarie um dos extensómetros.

O número de extensómetros correctores colocados nas primeiras barragens era também consideràvelmente menor que o número de grupos de extensómetros, pois supunha-se que um único extensómetro corrector era suficiente para vários grupos colocados no mesmo paramento e à mesma cota. Tal foi mais tarde considerado incorrecto e, por isso, passou a ser colocado um corrector por cada grupo. Originalmente estes correctores eram obtidos por moldagem de um prisma de betão com $15 \times 15 \times 30$ cm, um ou dois dias antes, no interior do qual o extensó-

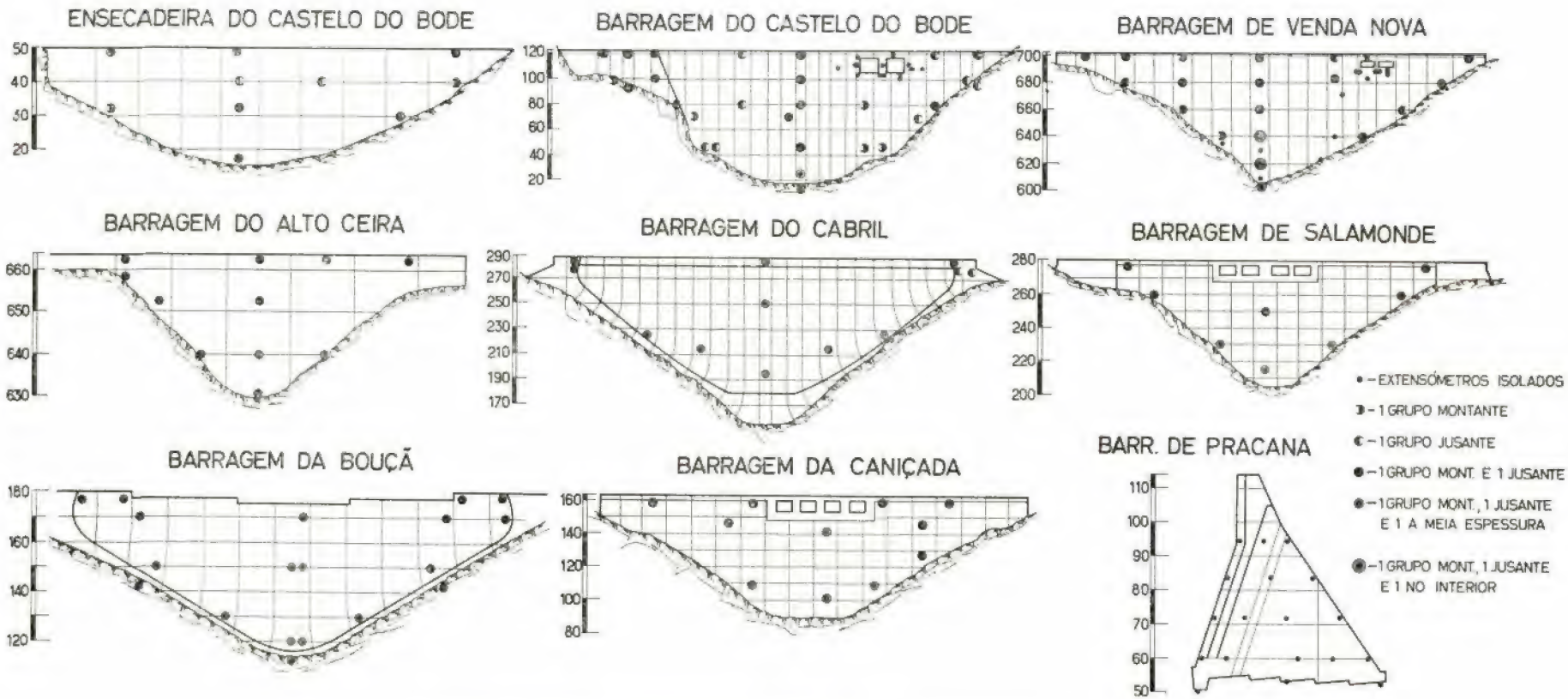


Fig. 7 — Posição dos extensómetros nalgumas barragens portuguesas

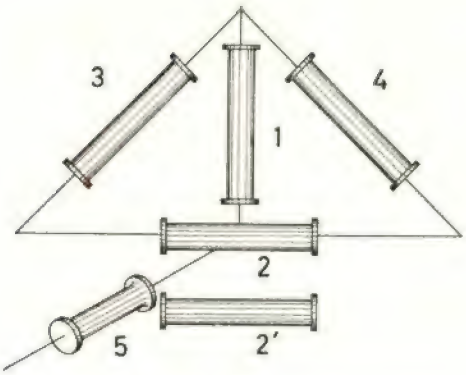


Fig. 8 — Disposição dos extensómetros para a instalação próximo dos paramentos (roseta)

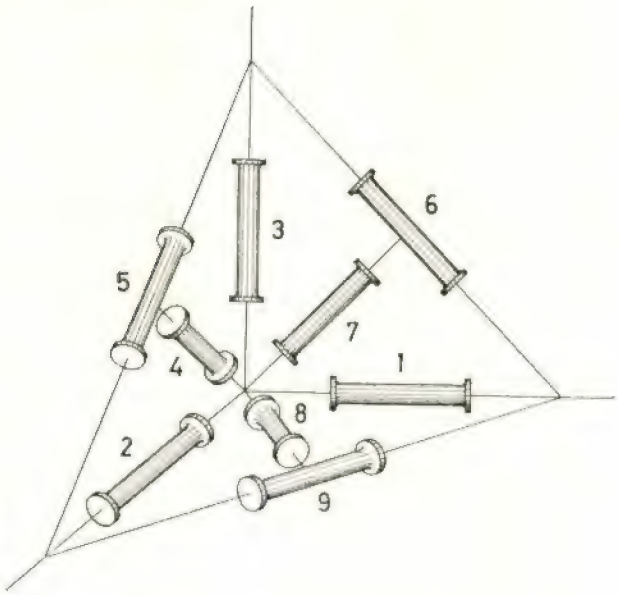


Fig. 9 — Disposição dos extensómetros para a instalação no interior (estrela)

metro era introduzido; este prisma era então colocado no interior de uma caixa de madeira (fig. 10a) que ficava embebida no corpo da barragem durante a betonagem. Estre processo foi considerado inconveniente, pois o betão do prisma não tinha a mesma idade, nem o seu estado de humidade era o mesmo que o do betão da barragem e também não ficava em contacto com esse betão. Mais tarde, passaram-se a usar caixas de madeira com parede dupla que continha o extensómetro e que eram cheias na altura da betonagem (fig. 10b). Contudo, os resultados obtidos em alguns destes extensómetros levaram à conclusão que a água e a humidade se acumulava no espaço entre as paredes duplas influenciando as propriedades do betão que envolvia o extensómetro.

Actualmente, usam-se caixas cilíndricas de metal que são estanques, tendo também paredes duplas, das quais a interior é de cobre (fig. 10c). Enquanto que muitas das leituras dos extensómetros correctores dispostos como se indica na fig. 10b eram difíceis de interpretar e tinham comportamentos irregulares em face das variações de temperatura (fig. 11), os diagramas dos extensómetros correctores dispostos como se indica na fig. 10c têm apresentado um comportamento regular com a temperatura e permitem medir, com precisão, o coeficiente da dilatação térmica e mesmo variações autogénias de volume (figs. 12 e 13).

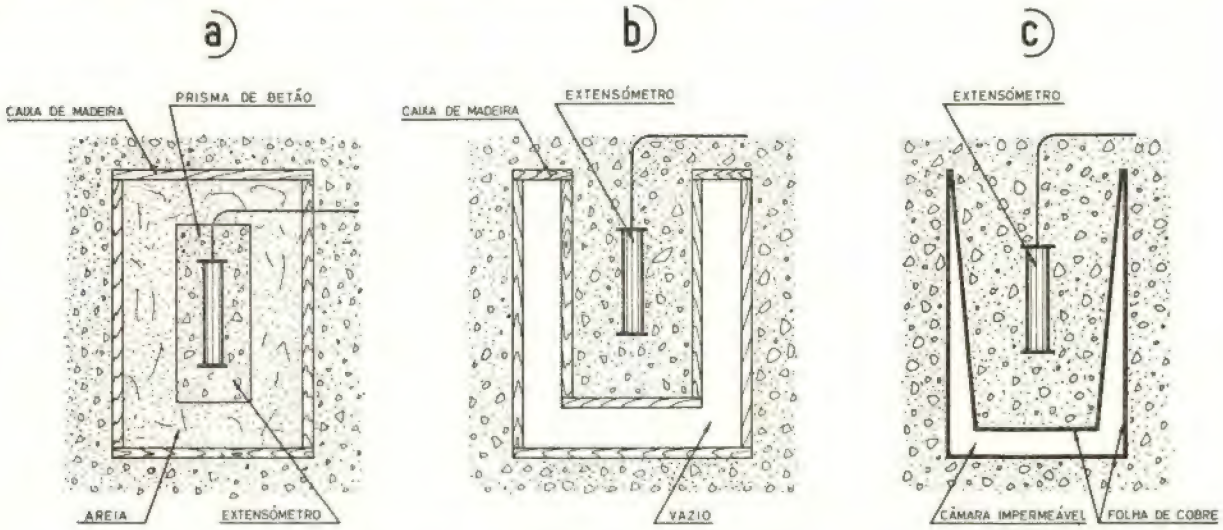


Fig. 10 — Disposição das caixas para os extensómetros correctores

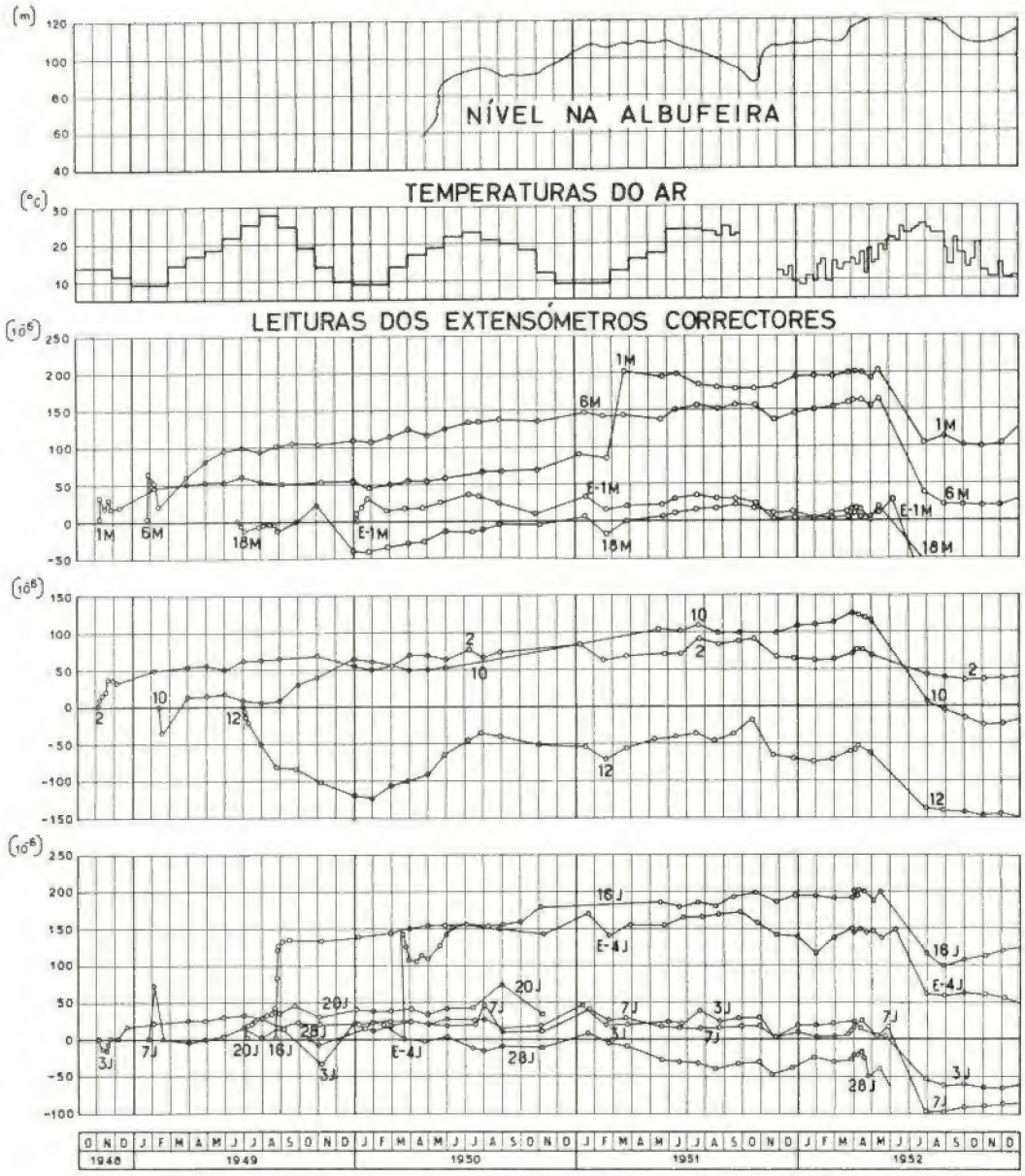


Fig. 11 – Diagrama de extensões dado pelos extensómetros correctores de Castelo do Bode

5 — LIGAÇÃO DOS EXTENSÓMETROS; SUA PREPARAÇÃO E INSTALAÇÃO NO INTERIOR DO BETÃO

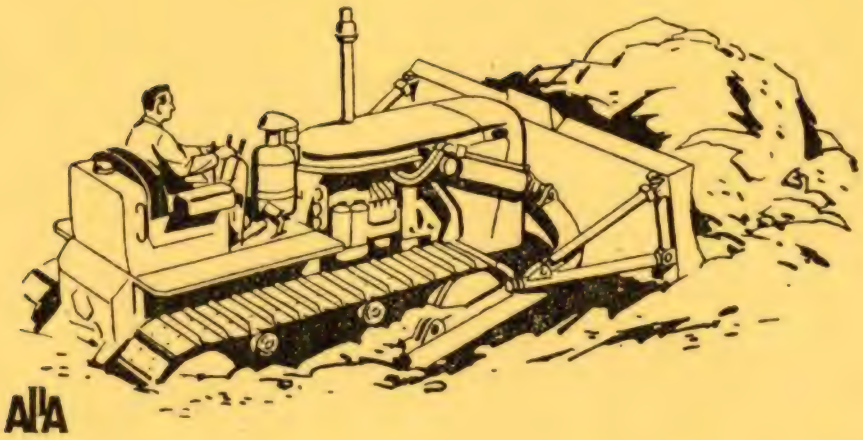
Antes da instalação dos extensómetros, estes devem ser ligados aos cabos de ligação às estações de leitura. Após a ligação, é habitual submeter o aparelho a um curto ensaio de verificação das suas condições de funcionamento, fazendo a medição da resistência entre os vários fios do cabo de ligação e pela sujeição dos extensómetros a pequenas variações de comprimento e pressões exteriores de água. O isolamento da resistência é também verificado colocando o instrumento em água. A eficiência com que o instrumento mede a temperatura é avaliada por meio de um termómetro de mercúrio de precisão.

Tem havido um cuidado especial na escolha dos cabos que ligam os extensómetros às estações de leitura (7), pois está verificado que a causa mais frequente do malogro do equipamento de observação é a danificação do cabo. Tal levou à prática do uso de cabos isolados com uma mistura de borracha pura e «neoprene» que tem provado muito bem.

Normalmente os cabos caminham ao longo de

CATERPILLAR*

TRACTORES DE RASTO E DE RODAS • PÁS MECÂNICAS (TRAXCAVATORS*) DE RASTO E DE RODAS • ESCARIFICADORES • BULLDOZERS SCRAPERS • MOTONIVELADORAS



MOTORES INDUSTRIAIS
GRUPOS ELECTROGÉNEOS
MOTORES MARÍTIMOS
ASSISTÊNCIA
PEÇAS SOBRESSALENTES
REPARAÇÕES

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS EM
PORTUGAL, ILHAS ADJACENTES, CABO VERDE E GUINÉ

STET

SOCIEDADE TECNICA DE EQUIPAMENTOS E TRACTORES, LDA.

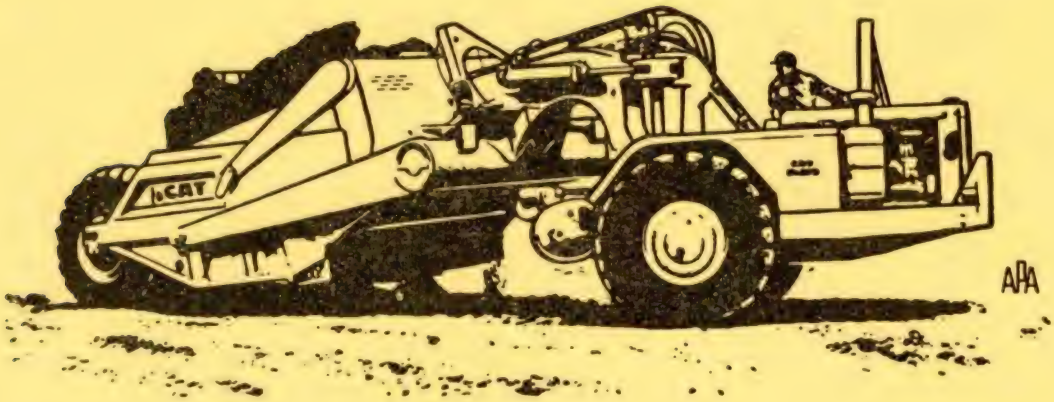
SEDE PROVISÓRIA: AV. DE MADRID, 3 - B – LISBOA 1
TELEFS.: 72 40 53 (P P C /A), 71 06 20 – TELEGS.: STETRA

* «CATERPILLAR» E «TRAXCAVATOR» SÃO MARCAS REGISTADAS DE CATERPILLAR TRACTOR CO.

CATERPILLAR*

apresenta

OS NOVOS MOTO-SCRAPERS



619, 630 e 631

EQUIPADOS COM CAIXA DE VELOCIDADES
SERVO-COMANDADA SISTEMA "POWER SHIFT"

	POTÊNCIA	CAPACIDADE
619	280 HP	14 m3
630	420 HP	27 m3
631	420 HP	22 m3

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO EM PORTUGAL CONTINENTAL, ILHAS AJACENTES, CABO VERDE E GUINÉ

STET

SOCIEDADE TECNICA DE EQUIPAMENTOS E TRACTORES, L.DA

SEDE PROVISÓRIA: AV. DE MADRID, 3-B — LISBOA 1

TELEFS. 72 40 53 (PPC/A) - 71 06 20 — TELEG «STETRA»

*«CATERPILLAR» É MARCA REGISTADA DE CATERPILLAR TRACTOR, CO. - PEORIA, ILLINOIS - E. U. A.

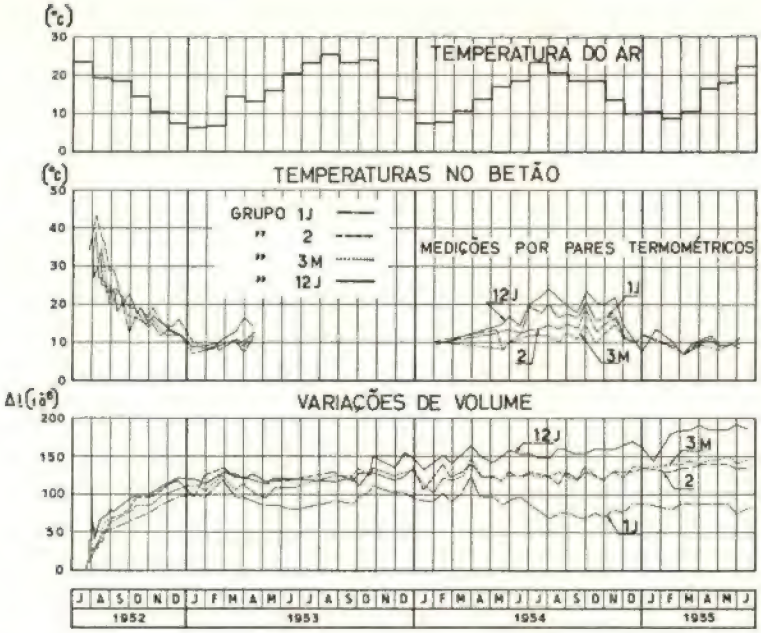


Fig. 12 — Diagrama de extensómetros correctores da barragem de Salamonde

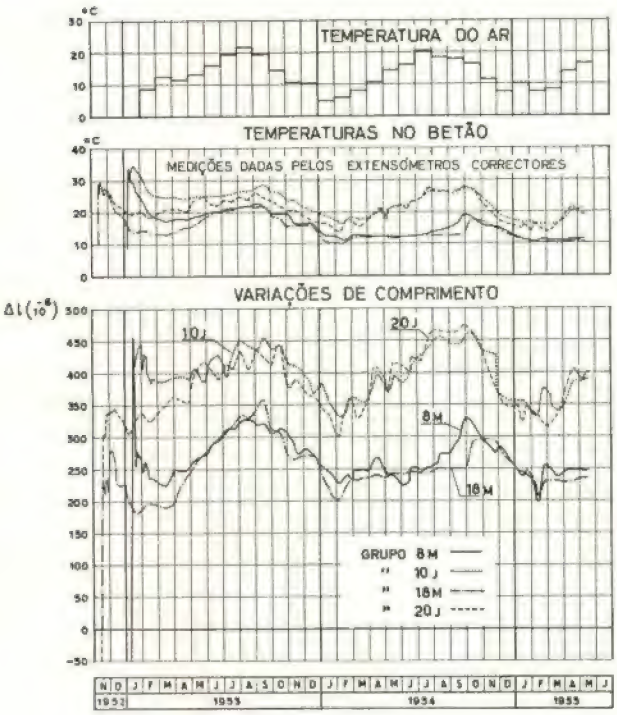


Fig. 13 — Diagrama de extensómetros correctores da barragem do Cabril

tubos (fig. 14) para as estações de leitura colocadas a cotas inferiores à dos extensómetros, em galerias ou no paramento de jusante. Esta localização para as estações de leitura tem a grande vantagem de permitir fazer leituras sem a interferência da construção. Contudo, em certos casos, não é possível colocar as estações de leitura a uma cota inferior à dos extensómetros e então os cabos têm de caminhar de baixo para cima

Fig. 14 — Cabos dos extensómetros passando ao longo dum tubo

no interior do betão (fig. 15) até posições onde serão construídas as referidas estações. Neste caso têm de ser tomados todos os cuidados para evitar a avaria dos cabos.

Nas estações de leitura há quadros com um terminal para cada extensómetro (fig. 16) ao

qual são ligados os instrumentos de leitura. O projecto e execução destes quadros têm de ser cuidadosamente estudados, a fim de evitar a entrada de humidade para os condutores.

Fig. 15 — Cabos dos extensómetros subindo no interior do betão

6 — INSTALAÇÃO DOS EXTENSÓMETROS

A instalação de extensómetros agora adoptada foi também objecto de sucessivos melhoramentos. Inicialmente, os extensómetros eram mantidos na sua posição, unindo-os com fios a uma estrutura de ferro (fig. 3) mas verificou-se que, com este sistema, alguns dos aparelhos saiam da sua posição durante a operação de betonagem. Mais tarde, os terminais dos extensómetros eram ligados a um núcleo de ferro embedido no betão por meio de uma ligação flexível idêntica à usada na América com os extensómetros Carlson, (fig. 6). Nas primeiras colocações de extensómetros nas barragens portuguesas, os aparelhos eram embebidos ao mesmo tempo que era betonada a camada onde estavam situados, mas em virtude da perturbação causada pela betonagem e da dificuldade em separar os inertes ao mesmo tempo que se colocava o aparelho, foi decidido embebê-los no betão com inertes de granulometria inferior a 8 cm, independentemente da colocação de betão de granulometria superior. Por esta razão, passaram-se a usar moldes fechando um espaço à volta da posição ocupada pelos extensómetros. Nas primeiras vezes em que se adoptou este processo, o betão era colocado primeiramente fora do volume definido pelos moldes, seguidamente retirava-se este, e só depois é que se betonava o espaço junto dos extensómetros (fig. 17). Actualmente, procede-se de maneira inversa, isto é, o espaço limitado pelos moldes é o que se enche primeiramente (fig. 18). Em qualquer dos casos, o betão

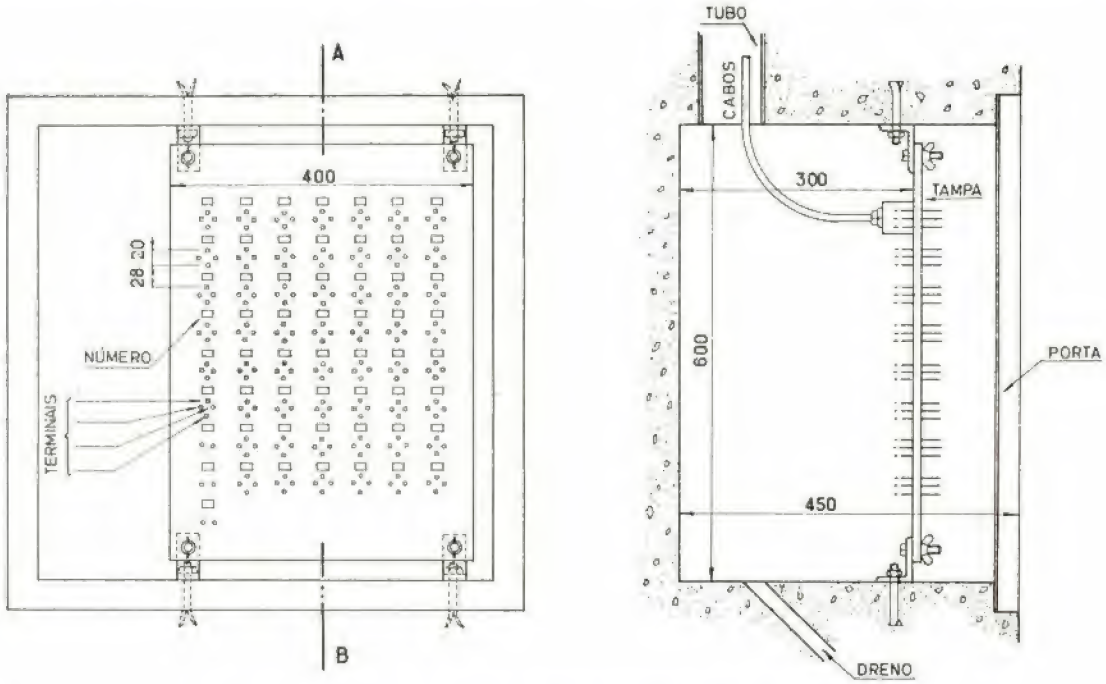


Fig. 16 — Disposição das estações de leitura (quadro de terminais)

envolvente dos extensómetros deve ser bem vibrado. É de boa técnica fazer medições dos extensómetros não só durante a betonagem mas também imediatamente depois, o que torna possível substituir um extensómetro que possa ter sido danificado durante a colocação. Estas medições e verificações dos aparelhos têm contribuído para diminuir as avarias nos mesmos (Quadro 1).

Fig. 17 — Colocação de betão à volta dos extensómetros (Cabril)

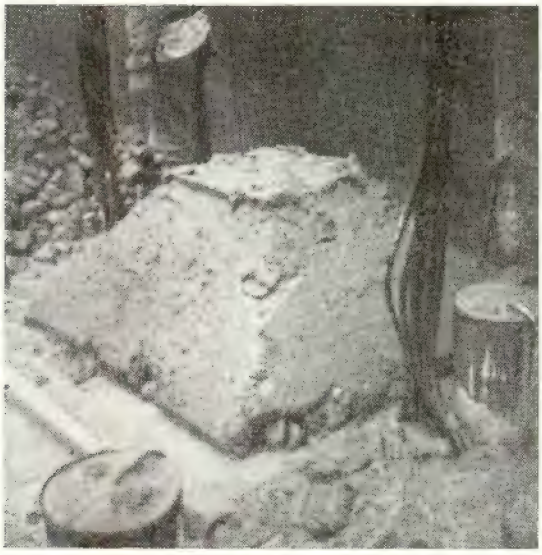


Fig. 18 — Colocação de betão à volta dos extensómetros (Bouçã)

7 — LEITURAS DOS EXTENSÓMETROS E CÁLCULO DAS VARIAÇÕES DE COMPRIMENTO

O programa completo de leituras dos extensómetros [8] (frequentes nos primeiros dias após a betonagem e semanais ou quinzenais após o betão ter alcançado a máxima temperatura) pretende obter informações acerca das tensões internas devidas ao desenvolvimento e dissipação de calor de hidratação do cimento e também a outros fenómenos que podem ocorrer durante o endurecimento e ainda acerca das tensões instaladas devidas às cargas normais que actuam na estrutura. Os curtos intervalos de leitura têm a vantagem de eliminar erros. Contudo, em face da grande quantidade de extensómetros instalados nas barragens portuguesas, o elevado número de leituras obtidas exige uma grande equipa para os cálculos, traçado de diagramas, etc. [8]

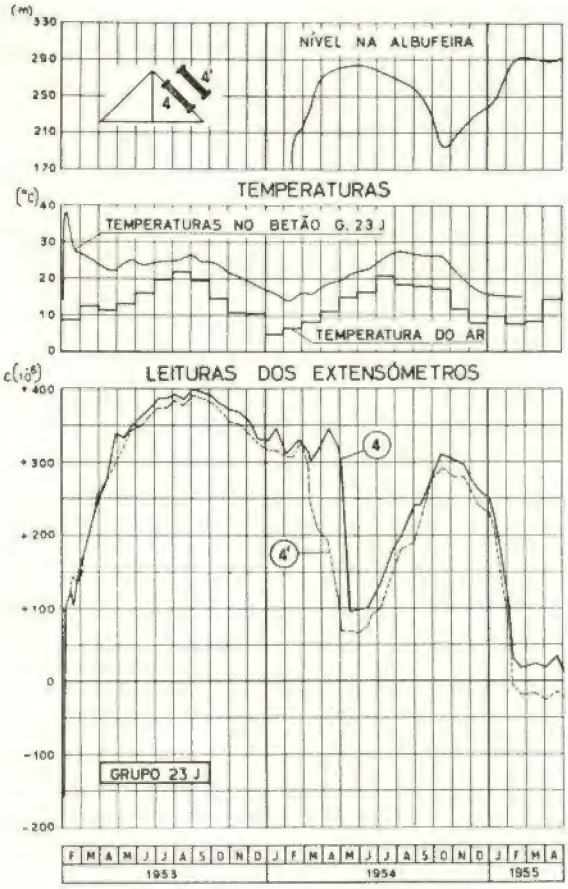


Fig. 19 — Diagrama de dois extensómetros paralelos na barragem do Cabril

Regra geral, os cálculos a realizar com os valores obtidos dos extensómetros de corda vibrante são muito mais simples do que os que se efectuam para os extensómetros de resistência eléctrica, porque enquanto os primeiros fornecem as variações de comprimento quase directamente, os últimos necessitam do cálculo das correcções devidas à variação de temperatura.

Os cálculos a efectuar para determinar as variações de comprimento do próprio extensómetro são indicadas, geralmente, pelo fabricante.

Quando só se dão variações de volume no betão, devidas às variações de temperatura ou outras causas, os valores calculados correspondem a variações de comprimento e não a extensões.

8 — COMPATIBILIZAÇÃO E CÁLCULO DE EXTENSÕES. CORRECÇÕES PARA O COEFICIENTE DE POISSON

Uma vez calculadas as variações de comprimento e traçados os diagramas respectivos, são verificadas as leituras dos vários extensómetros por meio das expressões (1) ou (2) conforme se trata de um grupo de extensómetros à superfície ou no interior. Como há erros de leitura, estas expressões não se verificam exactamente, e as diferenças entre as várias somas têm de ser distribuídas pelos valores das extensões reais de maneira que se igualem. O processo seguido foi já apresentado noutras publicações [6,9].

Esta compatibilização tem dado origem a certas dificuldades. Primeiramente, é necessário fixar a máxima diferença das variações de comprimento permitida em cada leitura. Normalmente, enquanto as diferenças entre as somas não atingem valores superiores a 20 ou 30×10^{-6}, a correcção faz-se distribuindo este valor pelos aparelhos, atendendo a que se admite que os erros permitidos na sua leitura podem também atingir o valor de 5×10^{-6}. Quando as diferenças são superiores têm de se averiguar as possíveis causas.

Regra geral, durante os primeiros tempos, ao comparar as expressões (1) ou (2) após a introdução dos extensómetros no betão, encontram-se valores bastante dispares nas várias somas. Contudo, na maioria dos casos, estas diferenças mantêm-se constantes a partir de certa data. Isto constitue uma indicação da data que pode ser tomada como inicial para as leituras e começo dos diagramas. A data a partir da qual as somas se apresentam aproximadamente iguais pode ser também considerada como aquela em que os extensómetros começam a seguir as variações de comprimento do betão. Tem-se constatado que, geralmente, os extensómetros Télémac só começam a dar leituras significativas a partir do sexto ao décimo segundo dia depois de instalados, enquanto os extensómetros Galileo fazem-no ao fim do segundo dia e os Carlson depois de doze a vinte e quatro horas. Este tempo dá uma indicação muito ilucidativa sobre a rigidez longitudinal dos diferentes extensómetros.

Nos grupos próximo dos paramentos, nos quais seja impossível obter concordância das leituras dos vários extensómetros, fez-se uma tentativa para ver se as diferenças sistemáticas encontradas poderiam ser atribuídas à variação do ângulo definidor da sua verdadeira posição, variação esta causada pelas operações de instalação. De facto, verificou-se para um grupo de extensómetros da barragem de Castelo do Bode, que, tomando $90° + 20°$ como ângulo de um dos extensómetros com o outro, as leituras de quatro extensómetros deste grupo ao longo do tempo passaram a ser compatíveis. Eis a razão principal que nos leva a adoptar a prática de duplicar os extensómetros na direcção da tensão principal máxima para grupos colocados na próximidade do paramento. Deve-se notar que, sòmente, em dois casos, um daqueles extensómetros tinha dado leituras compatíveis com os outros três. Contudo, regra geral, os diagramas de extensómetros são absolutamente paralelos desde o início, como se pode constatar pela fig. 19. As leituras destes extensómetros podem, efectivamente, ser utilizadas com certa confiança, ainda que um deles se encontre avariado não havendo então possibilidade de verificação.

Nos grupos colocados no interior das barragens as leituras têm sido compatibilizadas de acordo com a expressão (2). Quando tal compatibilidade não se verifica, é fácil encontrar o extensómetro que dá leituras erradas, visto que dessa expressão resultam as seguintes:

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 + \varepsilon_3 &= \varepsilon_4 + \varepsilon_5 \\ \varepsilon_1 + \varepsilon_3 &= \varepsilon_6 + \varepsilon_7 \\ \varepsilon_1 + \varepsilon_2 &= \varepsilon_8 + \varepsilon_9 \end{aligned} \qquad (3)$$

Uma vez verificada a compatibilidade têm que se determinar as variações de comprimento produzidas pelas temperaturas e variações autogéneas de volume. É costume nos E. U. A. realizar as correcções analìticamente a partir do conhecimento das variações de temperatura. No L. N. E. C. julga-se preferível adoptar as variações de comprimento lidas no extensómetro corrector do grupo.

De facto, as leituras do extensómetro corrector instalado de acordo com o processo mencionado no cap. 4, quando traçadas em função da temperatura, mostram variações de volume que não são ùnicamente devidas a esta causa, ainda que com estes gráficos seja possível determinar, com certa segurança, o coeficiente de dilatação térmica do betão (figs. 20 e 21).

A fim de facilitar a determinação de tensões

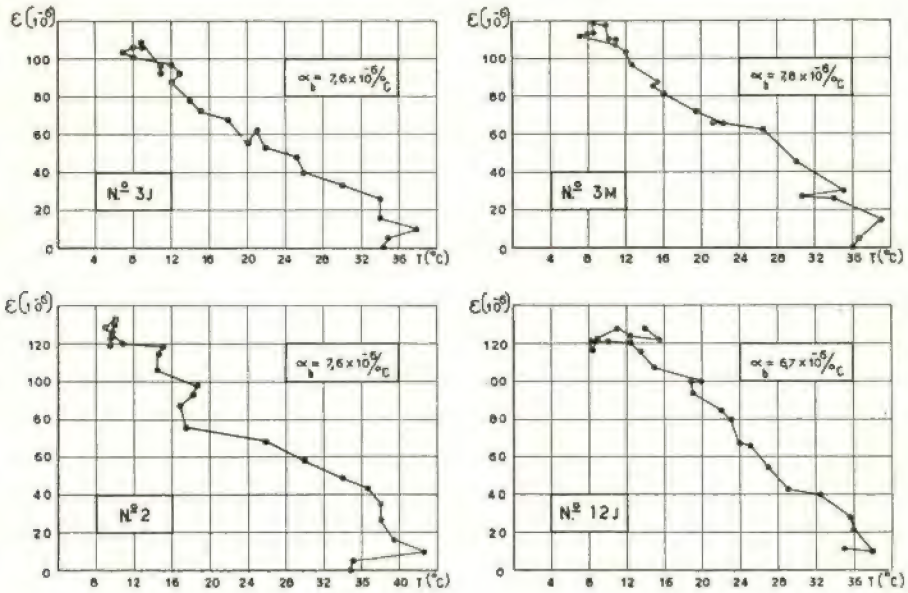


Fig. 20 — Diagrama das extensões dos correctores em função da temperatura (Salamonde)

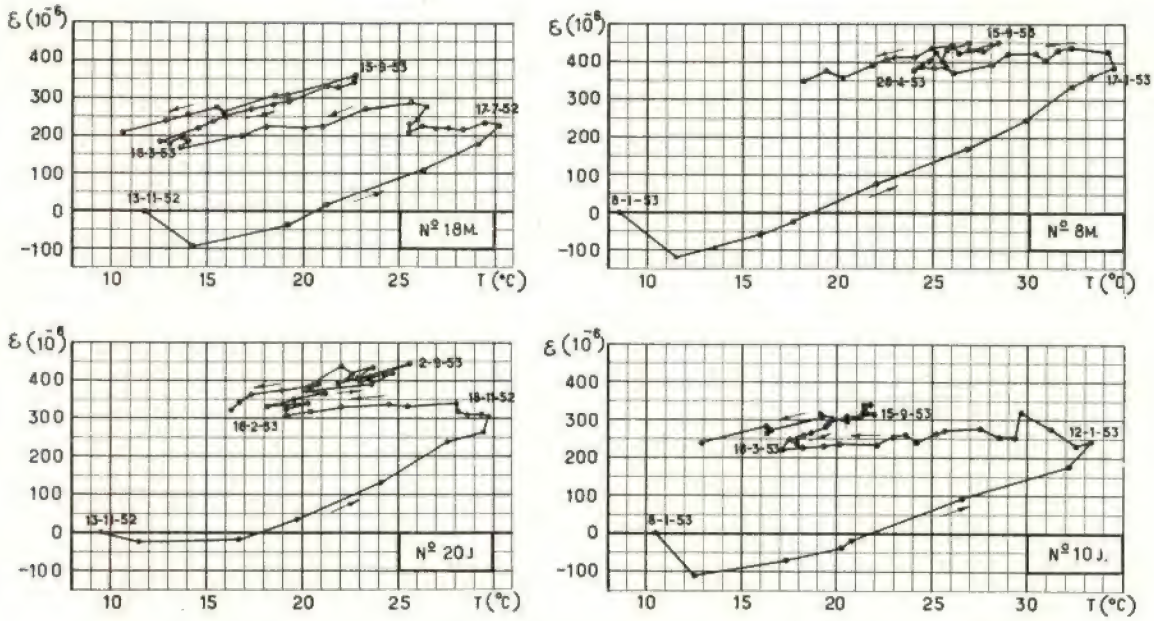


Fig. 21 — Diagrama das extensões dos correctores em função da temperatura (Cabril)

a partir das extensões é de grande utilidade calcular as extensões fictícias ε'_x, ε'_y, ε'_z em três direcções x, y, z a partir das extensões medidas ε_x, ε_y, ε_z:

$$\varepsilon'_x = \frac{1}{(1-\nu)\,(1-2\nu)} \left[(1-\nu)\,\varepsilon_x + \nu\,(\varepsilon_y + \varepsilon_z) \right]$$

$$\varepsilon'_y = \frac{1}{(1-\nu)\,(1-2\nu)} \left[(1-\nu)\,\varepsilon_y + \nu\,(\varepsilon_z + \varepsilon_x) \right]$$

$$\varepsilon'_z = \frac{1}{(1-\nu)\,(1-2\nu)} \left[(1-\nu)\,\varepsilon_z + \nu\,(\varepsilon_x + \varepsilon_y) \right]$$

que são proporcionais às tensões σ_x, σ_y, σ_z.

Esta última operação é conhecida como correcção do coeficiente de Poisson.

Em todas as observações realizadas em barragens portuguesas tem-se calculado as extensões corrigidas. A fig. 22 mostra os diagramas das extensões corrigidas de um grupo de extensómetros da barragem do Cabril apos terem sido feitas todas as correcções acima referidas.

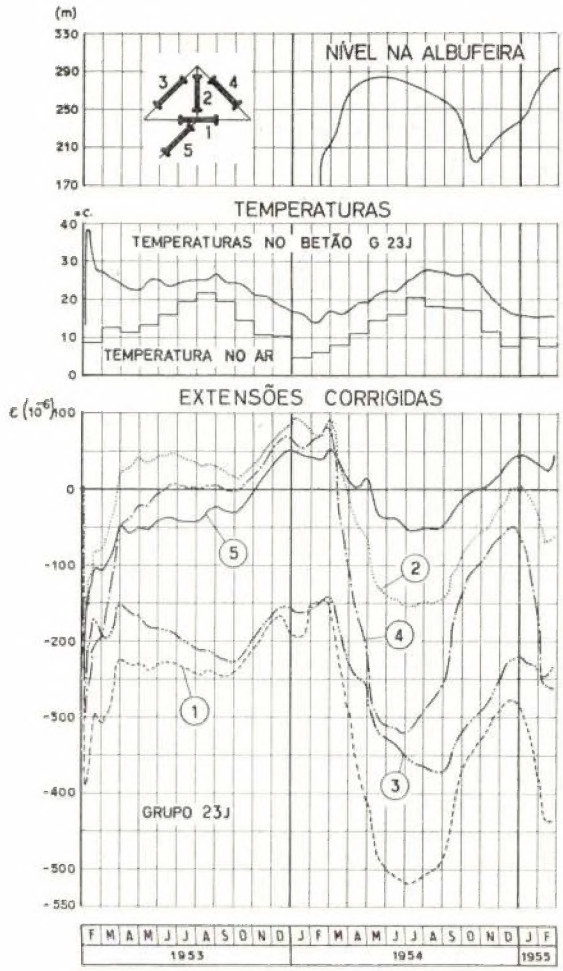


Fig. 22 – Diagrama de extensões corrigidas

Como o betão está sujeito à fluência há ainda dúvidas quanto ao valor do coeficiente de Poisson para extensões devidas à fluência. Até agora tem sido adoptado o mesmo que para as cargas instantâneas a fim de facilitar o cálculo das tensões por meio da teoria de fluência McHenry (6). Em virtude destas dúvidas tem sido colocado nos grupos próximo dos paramentos um extensómetro na direcção normal aos mesmos. Assim, em princípio, uma vez deduzidas as variações de comprimento, dadas pelo extensómetro corrector, das leituras do extensómetro normal ao paramento, a extensão ε_5, assim obtida, permite determinar o coeficiente de Poisson pela expressão

$$\varepsilon_5 = -\nu\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = -\nu\,(\varepsilon_3 + \varepsilon_4),$$

tomando nas somas $(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)$ e $(\varepsilon_3 + \varepsilon_4)$ (que são iguais) as extensões que tinham sido compatibilizadas e corrigidas pelas leituras do extensómetro corrector do grupo.

É evidente que estas verificações só podem ser tomadas como verdadeiras se não houver tensões na direcção normal ao paramento.

A fim de verificar a possibilidade de determinação do coeficiente de Poisson por este método, foram escolhidos os diagramas das extensões medidas nos três grupos colocados na proximidade do paramento de jusante e os grupos junto ao paramento de montante da barragem do Cabril, partindo da data em que a barragem entrou em serviço (fig. 23). Estes diagramas indicam-nos que a proporcionalidade entre os diagramas das somas e os das extensões obtidas por meio dos extensómetros normais ao paramento não é claramente definida *. Num grupo próximo do paramento de jusante, as extensões obtidas por meio do extensómetro normal ao paramento aumenta enquanto que as somas das extensões no plano paralelo ao paramento diminui. Naqueles grupos notam-se anomalias que podem ser ùnicamente atribuídas à existência de tensões na direcção normal aos paramentos que são, por sua vez, provàvelmente, devidas a elevados gradientes de temperatura, à retracção ou mesmo a for-

* Vide publicação posterior do Eng.º M. Guerreiro — «A determinação do coeficiente de Poisson do betão das nossas barragens a partir das extensões medidas *in situ*» — Técnica 248, 1958.

ças de capilaridade. Nos grupos junto ao paramento de montante tais como o 8 m e 21 m, para níveis de albufeira baixos, o efeito da pressão hidrostática contra este paramento mostra-se com

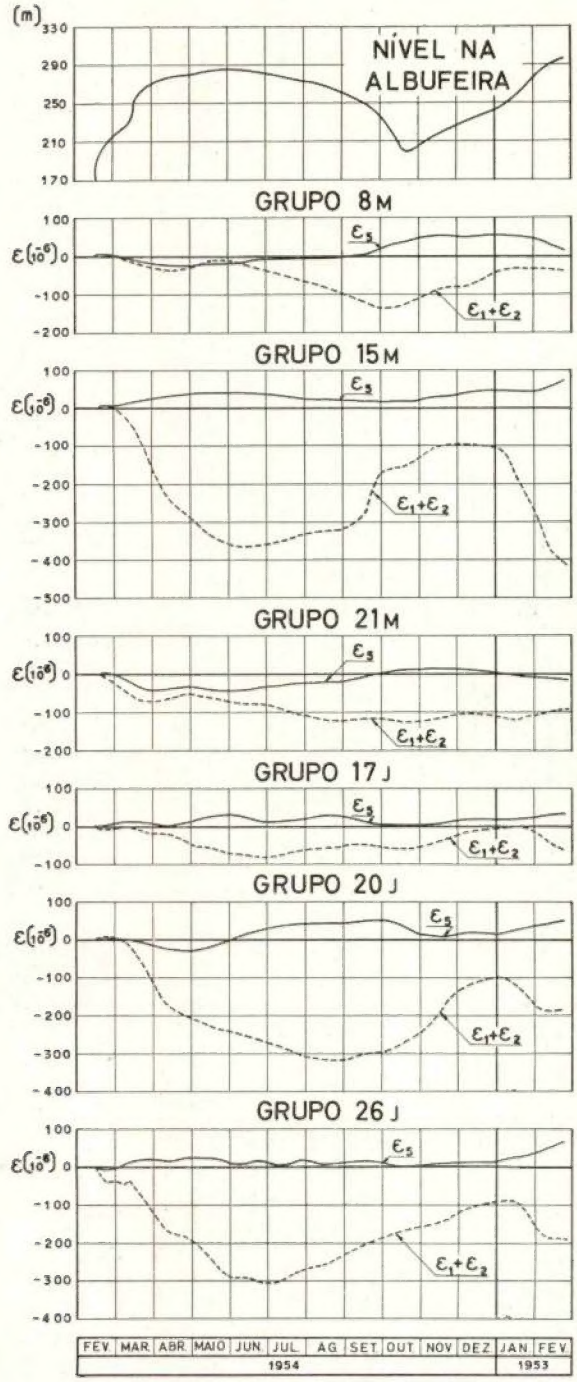


Fig. 23 — Gráficos do efeito do coeficiente de Poisson (grupos do Cabril)

toda a evidência. No grupo 15 m, apesar da pressão hidrostática ter um valor menor, o efeito do coeficiente de Poisson é mais evidente do que no caso anterior.

Destas breves considerações conclui-se, por um lado, que para grupos próximos dos paramentos, se deve admitir sempre a existência de uma terceira tensão principal normal ao paramento e, por outro lado, que há necessidade de investigar os efeitos da fluência nas variações do coeficiente de Poisson. Para tanto, sugerem-se ensaios semelhantes aos ensaios de fluência mas com cargas e descargas para longos intervalos. Por outro lado, torna-se também necessário investigar, no futuro, o comportamento dos extensómetros normais aos paramentos após se ter estabelecido o equilíbrio térmico na barragem.

9 — CÁLCULO DAS TENSÕES

O problema do cálculo de tensões a partir das extensões e das propriedades elásticas e de fluência do betão, determinadas em Laboratório, tem sido estudado na América (6) e em Inglaterra (10), tendo em conta ou a características visco-elásticas ou as plasto-elásticas das deformações do betão. Com o fim de utilizar os mesmos princípios adoptados na América pelo «Bureau of Reclation», o L. N. E. C. elaborou um programa de determinações das propriedades elásticas e anelásticas dos betões das várias barragens portuguesas em observação. Para tanto têm sido preparados prismas de betão igual ao destas barragens que, uma vez encerrados em envólucros de cobre impermeável, são submetidos a cargas constantes por períodos de diferentes durações.

Deste modo, foi já possível calcular as tensões desenvolvidas no betão que envolve alguns grupos de extensómetros desde o começo da construção das barragens de Castelo do Bode (7) e Venda Nova. As tensões relativas a quatro grupos de extensómetros colocados ao longo da secção da consola central de Venda Nova, estão representadas na fig. 24. É de notar, nesse diagrama, que enquanto os grupos próximo de paramentos registam tensões de compressão, o grupo 13 no interior regista tensões de tracção devidas, provàvelmente, ao arrefecimento da massa de betão.

Destes resultados e da análise dos diagramas de extensões obtidos para as várias barragens, conclui-se que há, efectivamente, necessidade

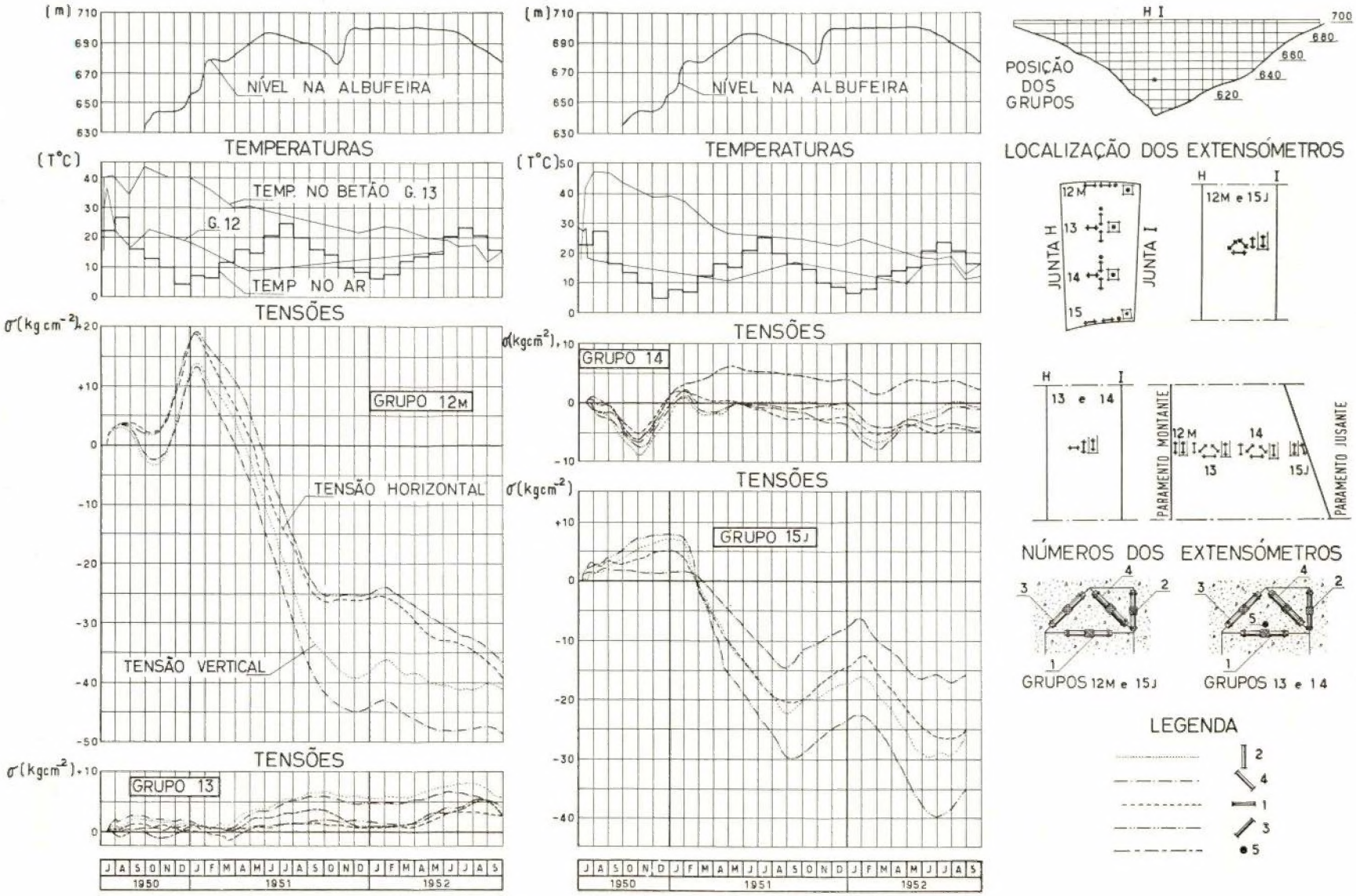
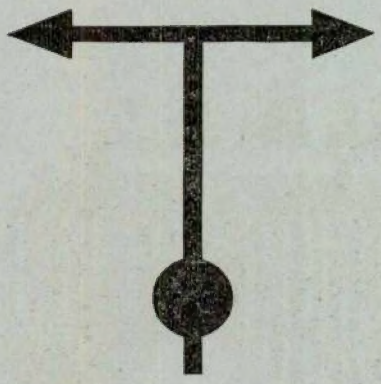
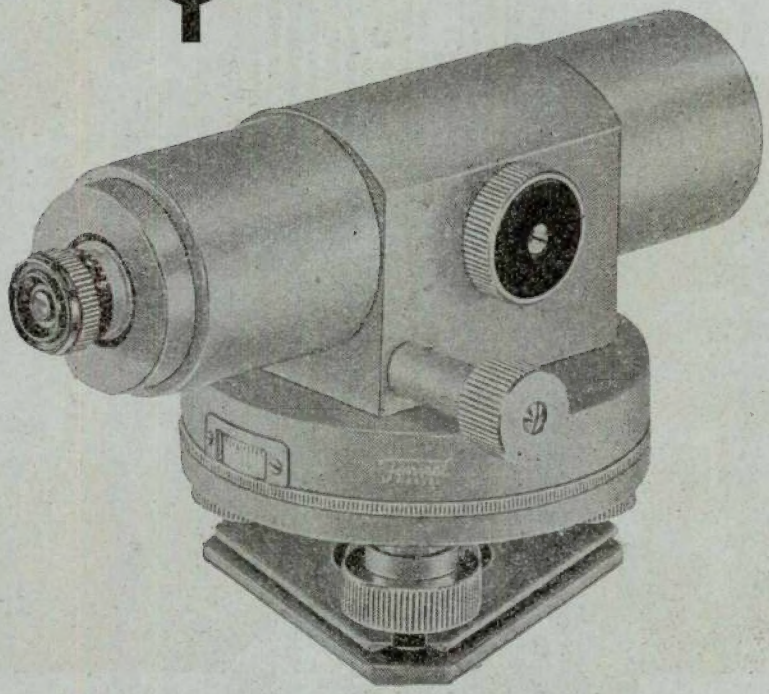


Fig. 24 – Diagrama de tensões numa secção da barragem de Venda Nova

NÍVEL AUTOMÁTICO



Otto-Fennel



Moderno aparelho equipado com um sistema prismático pendular, colocando automàticamente a linha de mira na sua posição horizontal.

A simplicidade e robustez do processo utilizado e o seu grande rendimento de trabalho, tornam este aparelho excepcionalmente dotado para todos os nivelamentos técnicos

CARACTERÍSTICAS

Luneta — Nivelamento com focagem interna, óptica tratada, imagem direita. Comprimento 200 mm. Ampliação 20 x. abertura da objectiva 25 mm. Distância mínima de mira 2,5 m. Constante de adição zero. Constante de multiplicação 100.

Círculo horizontal — Diâmetro 100 mm. Graduação 1° 1 g.
Leitura directa 1° 1 g. Leitura por avaliação 6′ 10ᵈ.

Sensibilidade do nível esférico: 8′.
Tripé extensível, caixa metálica com pequenos acessórios.
Pesos: aparelho 2 kg; caixa 2,400 kg; tripé 5,200 kg.

REPRESENTANTES

PAPELARIA FERNANDES — S. A. R. L.

L. DO RATO, 13 — TEL. 68 21 31 / 39 — R. DO OURO, 145 — TEL. 2 83 61 / 2 60 66

LISBOA